



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

LAURI RANTANEN
SIIRRETTÄVÄN HENKILÖNOSTIMEN OHJAUS- JA HYDRAULI-
JÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU
Diplomityö

Tarkastaja: professori Jari Rinkinen
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Teknisten tieteiden tiedekunnan
tiedekuntaneuvoston kokouksessa
9. huhtikuuta 2014

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Konetekniikan koulutusohjelma

LAURI RANTANEN: Siirrettävän henkilönostimen ohjaus- ja hydraulijärjestelmän suunnittelu

Diplomityö, 81 sivua, 5 liitesivua

Toukokuu 2014

Pääaine: Hydrauliikka ja automatiikka

Tarkastaja: professori Jari Rinkinen

Avainsanat: Siirrettävä henkilönostin, Leguan Lifts, konedirektiivi, suunnittelu-standardi, toiminnallisenturvallisuuden taso, hydraulijärjestelmä, ohjausjärjestelmä, turvalogiikka, riskianalyysi

Siirrettäviä henkilönostimia käytetään lukuisissa eri työtehtävissä sekä rakentamisessa että teollisuudessa. Vuosien kuluessa henkilönostinalasta on kasvanut miljardiluokan markkinasegmentti. Kiristyvät turvamääräykset ja teknologinen kehitys asettavat jatkuvasti uusia haasteita ja vaatimuksia henkilönostinten suunnittelulle, valmistukselle ja käytölle. Rakenteellisesti siirrettävien henkilönostimien nostorakenteet perustuvat, joko saksimekanismiin tai puomiin. Jakauma on likimain tasan molemmille tyypeille, mutta puomikäyttöiset nostimet voidaan jakaa useisiin eri alalajeihin riippuen puomin ja koneen alustan toteutustavasta.

Tässä diplomityössä selvitetään Leguan Lifts Oy:n valmistamien henkilönostinten ominaisuuksia ja peilataan niitä markkinoilla tarjolla oleviin ratkaisuihin sekä etsitään uusia käyttäjävaatimuksia henkilönostinten toiminnallisuudelle. Tavoitteena tutkimukselle on suunnitella uusi siirrettävä henkilönostinmalli, jossa yhdistyvät Leguan-henkilönostinten vahvat ominaisuudet ja uudet toiminnot, joita vanhat mallit eivät ole tarjonneet. Uusia toimintoja ovat muun muassa automaattitasaus ja langaton ohjaus.

Henkilönostolaitteet kuuluvat EY-tyyppihyväksynnän piiriin, jolloin niille on haettava tarkastavan laitoksen hyväksyntä ja niiden on täytettävä konedirektiivin 2006/42/EY vaatimukset. Viimevuosina tärkeimmistä henkilönostin suunnitteluun liittyvistä standardeista EN 280 ja AS/NZS 1418.10 ovat päivittyneet merkittävästi. Ohjausjärjestelmäsuunnittelussa turvatoimintojen toteutuksessa on otettu käyttöön ISO 13849-1 mukaiset toiminnallisenturvallisuuden tasot (PL). Standardeissa on myös huomioitu langattoman ohjauksen turvallisuusvaatimukset ja turvalaitteiden ohituksen toteutukselle esitetään vaatimuksia.

Uuden siirrettävän henkilönostinmallin suunnittelusta käsitellään tässä työssä hydraulijärjestelmän komponenttivalintaa, turvallisuusratkaisuja ja toimilaitteiden mitoitus-ta. Toisena tärkeänä osa-alueena työssä määritellään ohjausjärjestelmän toiminnalliset vaatimukset sekä turvallisuusvaatimukset jatkosuunnittelua ja toteutusta varten. Lisäksi työssä toteutetaan suunniteltavalle koneelle alustava vaara-analyysi ja tutkitaan markkinoilla olevia turvalogiikoita.

Työn tuloksena saadaan suunnitelmat hydraulijärjestelmän toteutuksesta siirrettävään henkilönostimeen. Suunnitelmat sisältävät järjestelmäkaaviot, valitut komponentit ja yleiset toteutusperiaatteet. Ohjausjärjestelmän tyyppihyväksyntää varten saadaan dokumentti toteutetusta alustavasta vaara-analyysistä. Toiminnallisista vaatimuksista ja turvallisuusvaatimuksista saadaan toiminnallinen määrittely suunniteltavalle siirrettävälle henkilönostimelle.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Mechanical Engineering

RANTANEN, LAURI: Design of control system and fluid power system for mobile elevating work platform

Master of Science Thesis, 81 pages, 5 Appendix pages

May 2014

Major: Hydraulics and automation

Examiner: Professor Jari Rinkinen

Keywords: Mobile elevating work platform, Leguan Lifts, Machinery directive, Design standard, performance level for functional safety, hydraulic system, control system, safety controller, risk analysis

Mobile elevating work platforms are used in various tasks in the construction and other industries. Over time, the aerial work platform industry has grown to be a market segment with annual turnover of several billions. Tightening safety regulations and technological development continuously set new challenges and demands for design, manufacturing and use of elevating work platforms. Structure of lift mechanism in mobile elevating work platforms is either based on a scissor or a boom mechanism, with each holding approximately fifty percent market share, but boom lifts can be divided to many subcategories depending on boom and undercarriage configuration.

In this thesis mobile elevating work platforms manufactured by Leguan Lifts are studied. They are compared to solutions available on market and new user demands are researched. The goal is to design a new mobile elevating work platform by combining strong features of Leguan machines with new features such as automatic stabilization and wireless control.

Mobile elevating work platforms are under the EC type approval and they need to be inspected by a notified body to meet the requirements of the Machinery directive 2006/42/EC. The two most important standards for the design of mobile elevating work platforms, EN 280 and AS/NZS 1418.10, have recently gone through a major update. For safety related parts of control system performance levels (PL) according to ISO 13849-1 have been adopted. Standards also include requirements for wireless remote control systems and bypassing safety features.

In this paper component selection, safety features and actuator sizing for fluid power system are discussed. Another important part of this work is to define functional and safety requirements for the future design and implementation. On top of that, the preliminary risk assessment is done for the designed machine, and safety controllers found in markets are studied.

This study provides circuit diagrams and defines suitable components for designed fluid power system. Preliminary risk analysis for control system validation and machine type approval is also provided. Lastly, the functional specification of designed mobile elevating work platform is written in this research, based on functional and safety requirements.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on kirjoitettu Tampereen teknillisen yliopiston hydraulikan ja automatiikan laitokselle. Työssä käsitellään henkilönostimen hydraul- ja ohjausjärjestelmän suunnittelua. Suunniteltavat järjestelmät liittyvät uuden henkilönostimen suunnittelu projektiin. Työn teettäjänä toimi Leguan Lifts Oy.

Haluan kiittää Leguan Lifts Oy:n toimitusjohtajaa Antti Otavaa ja Avant Tecno Oy:n toimitusjohtajaa Risto Käkälää mahdollisuudesta tämän työn tekemiseen ja luot-
tamuksesta uuden nostinmallin vastaavana suunnittelijana. Avant Tecno Oy:n suunnitte-
lutiimiä ja diplomityön tarkastajaa professori Jari Rinkistä haluan kiittää heidän anta-
mastaan tuesta ja neuvoista työn aikana.

SISÄLLYS

Tiivistelmä	ii
Abstract	iii
Termit, merkinnät ja lyhenteet	vii
1 Johdanto	1
2 Erilaiset siirrettävät henkilönostintyytit, käyttökohteet ja valmistajat	2
2.1 Hinattavat henkilönostimet	2
2.2 Tela-alustaiset henkilönostimet.....	3
2.3 Raskaat itsekulkevat henkilönostimet	5
2.4 Kevyet itsekulkevat pyörialustaiset henkilönostimet	6
2.5 Saksilavat	7
2.6 Kiinteäalustaiset henkilönostimet	8
2.7 Autoalustaiset henkilönostimet	9
2.8 Pystypuominostimet.....	10
2.9 Henkilönostinten käyttökohteet	11
2.10 Henkilönostinvalmistajien etujärjestö – IPAF	12
3 Siirrettävät Leguan-henkilönostimet.....	13
3.1 Nykyiset henkilönostinmallit	13
3.1.1 Leguan 125	14
3.1.2 Leguan 160 & 130	15
3.1.3 Leguan 50	16
3.2 Tulevaisuuden vaatimukset.....	17
3.3 Tavoitteet uuden ohjausjärjestelmän suunnittelussa	18
3.4 Uusi UltraLift-mallisarja.....	19
4 Ohjausjärjestelmien suunnittelustandardit ja määräykset	21
4.1 Konedirektiivi ja koneasetus	21
4.2 Riskianalyysi – ISO 12100	23
4.3 Siirrettävien henkilönostinten suunnittelu – EN 280	26
4.4 Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmien osat – ISO 13849	27
4.5 Koneiden ohjausjärjestelmien toiminnallinen turvallisuus – KOTOTU.....	29
5 Hydraulijärjestelmän suunnittelu	33
5.1 Vaatimukset henkilönostimen hydraulijärjestelmälle	34
5.2 Valitut tekniset ratkaisut ja komponenttityypit.....	35
5.2.1 Puomin ja tukijalkojen ohjaus	36
5.2.2 Ajoliikkeiden ohjaus	38
5.2.3 Puomin nosto	40
5.3 Hydraulijärjestelmän turvallisuusratkaisut.....	41
5.4 Hydraulijärjestelmän mitoitus.....	42
5.4.1 Ajovoimansiirron mitoitus.....	43
5.4.2 Puomin nostosylinterien mitoitus	50
5.4.3 Tukijalkasylinterien mitoitus	52

6	Ohjausjärjestelmän suunnittelu	55
6.1	Vaatimusmäärittely	55
6.1.1	Ohjaustoiminnot	57
6.1.2	Turvatoiminnot	60
6.1.3	Langattoman ohjauksen vaatimukset henkilönostimessa	64
6.2	Riskianalyysi	65
6.3	Ohjelmoitavat logiikat turvakriittisessä ohjausjärjestelmässä	70
7	Suoritettujen suunnittelutoimenpiteiden arviointi	75
8	Yhteenveto	78
	Lähteet	79
	Liite 1: Hydraulijärjestelmäkaavio	82
	Liite 2: Nostosylinterien laskentamalli	84
	Liite 3: Ote alustavasta vaara-analyysistä	86

TERMIT, MERKINNÄT JA LYHENTEET

TERMIT

A-tyypin standardi	(turvallisuuden perusstandardi) esittää perusteet, suunnitteluperiaatteet ja yleiset näkökohdat, joita voidaan soveltaa koneisiin.
B-tyypin standardi	(turvallisuuden ryhmästandardi) käsittelee yhtä turvallisuusnäkökohtaa tai yhtä sellaista suojausteknistä laitetta, jota voidaan käyttää useissa koneryhmissä.
C-tyypin standardi	(konekohtainen turvallisuusstandardi) käsittelee tietyn koneen tai koneryhmän yksityiskohtaisia turvallisuusvaatimuksia.
Henkilönostin	Korotettuna työtasona käytettäväksi tarkoitettu kone, jossa on ojentuva työtasoa liikuttava mekanismi.
Jib	Jib-puomin ohjaustoiminnon nimitys
Jib-puomi	Nivelpuomin osa, joka yleensä sijoittuu puomirakenteen päähän teleskooppipuomin ja työtason vakaajan väliin
Siirrettävä henkilönostin	Henkilönostin, jonka siirtäminen on mahdollista sen oman voimanlähteen ja ajovoimansiirron avulla
Suoritustaso	Turvallisuuteen liittyvien ohjausjärjestelmän osien kyky suorittaa turvatoiminto ennakoitavissa olosuhteissa
Turvatoiminto	Koneen toiminto, jonka vikaantuminen voi aiheuttaa välittömän riskin (riskien) kasvamisen.
Työtaso	Henkilönostimen nostolaitteiston osa, jolta käyttäjä voi suorittaa turvallisesti työtehtäviä ja ohjata koneen liikkeitä.

LATINALAISET AAKKOSET

a_{cyl}	Nostonivelen ja sylinterikorvakkeen välinen etäisyys [m]
b_{cyl}	Nostonivelen ja sylinterikorvakkeen välinen etäisyys [m]
F_{avgT}	Vetävältä telalta vaadittava vetovoima tela-alustaisen koneen kääntämiseksi [N]
F_e	Yhdelle pyörälle redusoitu vetovoima esteenylityksessä [N]
F_f	Etupyörien vetovoima [N]
F_{grad}	Ajoluiskan suuntainen koneen gravitaatiovoiman komponentti [N]

F_r	Takapyörien vetovoima [N]
F_{turnW}	Vetäviltä pyöriltä vaadittava vetovoima pyöräalustaisen koneen kääntämiseksi [N]
F_μ	Koneen yhteen renkaaseen vaikuttava täysin kehittynyt kitkavoima [N]
$F_{\mu 1}$	Kääntöakselille ristikkäisen vetävän pyörän pituussuuntainen kitkavoima [N]
$F_{\mu 2}$	Kääntöakselille ristikkäisen vetävän pyörän poikkisuuntainen kitkavoima [N]
$F_{\mu 3}$	Kääntöakselinpuoleisella sivulla olevan pyörän pituussuuntainen kitkavoima [N]
$F_{\mu 4}$	Kääntöakselinpuoleisella sivulla olevan pyörän poikkisuuntainen kitkavoima [N]
g	Gravitaatiovakio [m/s^2]
G_f	Eturenkaiden kantama kuorma [N]
h	Ylitettävän esteen korkeus [m]
m	Koneen kokonaismassa siirrettäessä [kg]
m_{boom}	Nostettavan puomirakenteen massa kuorman kanssa [kg]
M_e	Esteen ylittämiseen tarvittava momentti eturenkaiden ympäri [Nm]
m_{machine}	Koneen massa täydellä kuormalla [kg]
p_{cyl}	Sylinterien mitoituspaine [Pa]
s_{cyl}	Sylinterin iskunpituus [m]
s_G	Nostettavan puomirakenteen painopisteen tai tukijalan kuormituspisteen etäisyys nostonivelestä [m]
x	Koneen raideleveys [m]
$x_{\text{cyl_min}}$	Sylinterin asennusmitta (lyhin mitta) [m]
y	Koneen akseliväli [m]
y_1	Kääntöakselin puoleisen telan kitkavoimaresultantin pituussuuntainen etäisyys kääntöakselista [m]
y_2	Kääntöakseliin nähden vastapuolella olevan telan kitkavoimaresultantin pituussuuntainen etäisyys kääntöakselista [m]

KREIKKALAISET AAKKOSET

α	Ajoluiskan nousukulma [°]
α_{init}	Nostonivelen ja nostettavan rakenteen painopisteen läpikulkevan suoran kulma suhteessa vaakatasoon [°]
ΣF_{x1}	Koneen seisovan telan poikkisuuntainen kitkavoimaresultantti [N]
ΣF_{x2}	Koneen vetävän telan poikkisuuntainen kitkavoimaresultantti [N]
ΣF_{y1}	Koneen seisovan telan pituussuuntainen kitkavoimaresultantti [N]
ΣF_{y2}	Koneen vetävän telan pituussuuntainen kitkavoimaresultantti [N]
ΣF_{μ}	Yhteen telaan kohdistuva kitkavoimaresultantti täysin kehittyneessä kitkatilanteessa [N]
μ	Kitkakerroin [-]

LYHENTEET

BGIA	Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit
IPAF	International Powered Access Federation
MTTF _d	Mean time to dangerous failure
PAL-kortti	Powered Access License
PL	Performance level
PL _r	Required performance level
SHN	Siirrettävä henkilönostin
SIL	Safety integrity level
TÜV	Technischer Überwachungsverein

1 JOHDANTO

Nykyään teollistuneessa yhteiskunnassa rakennetaan jatkuvasti uutta, korjataan vanhaa tai tehdään erilaisia laitteiden huoltotöitä. Rakennukset ovat korkeita ja laitteita sijoitetaan vaikeasti luokse päästäviin paikkoihin. Tämä kaikki johtaa tarpeeseen löytää keinoja ihmisen viemiseen mitä moninaisimmille korkeisiin rakenteisiin sijoitetuille työkohteille aina talon seinältä tuulivoimaloiden siiville. Aiemmin työkohteille pyrittiin käyttäen tikkaita tai työkohteeseen rakennettiin telineet, mutta työturvamääräysten kiristytessä tikapuilta työskentely on lähestulkoon täysin kiellettyä ja nopeita työtehtäviä hoidettaessa telineiden rakentaminen on auttamatta liian hidasta. Vastaamaan näihin haasteisiin on vuosien aikana kehitetty erilaisia henkilöiden nostoon tarkoitettuja laitteita ja koneita. Näistä siirrettävät henkilönostimet ovat kasvaneet valtavaksi konemarkkinasegmentiksi, joka työllistää vuokraamojen, valmistajien ja loppukäyttäjien kautta lukemattomia ihmisiä.

Nykyisin siirrettävät henkilönostimet ovat muuttuneet yksinkertaisista hydraulisista nostokoneista huipputeknisiksi hienostunutta automatiikkaa sisältäviksi työkoneiksi. Tässä työssä on tarkoituksena tutustua siirrettävien henkilönostinten markkinoilla tarjolla olevaan kalustoon ja suunnitella uusi henkilönostinmalli huomioiden markkinoiden vaatimukset ja kilpailutilanne. Suunniteltava henkilönostin tulee sijoittumaan kevyiden itsekulkevien henkilönostinten kategoriaan. Suunnittelutyö suoritetaan Leguan Lifts Oy:lle, jolla on yli 20 vuoden kokemus itsekulkevien siirrettävien henkilönostinten valmistuksesta.

Aluksi työssä esitellään kaikki merkittävimmät siirrettävät henkilönostintyyppit ja pohditaan niiden käyttökohteita sekä esitellään joitakin merkittävimpiä valmistajia. Leguan-henkilönostimet esitellään erikseen ja selvitetään uudelle henkilönostimelle asetettavat vaatimukset ja tavoitteet. Työssä selvitetään konedirektiivin ja soveltuvien suunnittelustandardien sekä suunnitteluohjeiden liittyminen henkilönostimen suunnitteluun. Tärkeimmät standardit esitellään tarkemmin ja niistä johdetaan vaatimuksia hydraulijä ja ohjausjärjestelmän suunnittelulle. Hydraulijärjestelmä suunnitellaan käyttäjä-, viranomais- ja markkinavaatimusten mukaisesti. Hydraulijärjestelmään valitaan soveltuvat komponenttityypit ja koneen hydrauliset toimilaitteet mitoitetaan. Koneen ohjausjärjestelmälle tehdään vaatimusmäärittely, jossa huomioidaan suunnittelustandardit ja nykyaikaiset koneiden käyttö- ja turvaominaisuudet sekä suunnitellaan toimintojen toteutusperiaatteita. Tämän lisäksi tutustutaan eräisiin nykyaikaisiin turvakomponentteihin ja suoritetaan koneelle alustava riskin arviointi.

2 ERILAISET SIIRRETTÄVÄT HENKILÖNOSTINTYYPIT, KÄYTTÖKOHTEET JA VALMISTAJAT

Henkilönostimella tarkoitetaan nostolaitetta, joka on suunniteltu käytettäväksi korotettuna työtasona. Henkilönostin on tarkoitettu toimimaan ainoastaan työtasona eikä sitä tulisi käyttää tavarannostimena. Nykyään tavara- ja henkilönostinten välinen raja on osin hämärtnyt, kun markkinoille on tuotu nostimia, jotka on suunniteltu toimimaan sekä tavara- että henkilönostimena. Myös perinteisiin tavarannostimiin on liitettävissä työkojeja ja lisälaitteita, joilla esimerkiksi kurottajat saadaan toimimaan henkilönostimena.

Henkilönostinten kasvavaan käyttöön on vaikuttanut erityisesti työmailla noudatettavat turvallisuusmääräykset, jotka rajoittavat muun muassa tikapuilla työskentelyä. Tällöin vaihtoehtoina korkealla työskentelylle on käytännössä rakennustelineet ja erilaiset henkilönostimet. Henkilönostinten käyttöä puoltaa usein nopea asennusaika ja helppo siirrettävyys verrattuna telineisiin.

Erilaisten henkilönostintyyppien kirjo on hyvin laaja ja lähes jokaiseen paikkaan, jossa henkilönostoja on tarpeen tehdä, löytyy markkinoilta sopiva laite. Pienimpiä henkilönostimia voidaan siirtää miesvoimin, kun suurimmat vaativat tuhansia kiloja painavan kuljetuskaluston. Tässä luvussa tutustutaan erityyppisiin markkinoilta löytyviin henkilönostimiin ja niiden tyypillisiin ominaisuuksiin sekä luodaan katsaus henkilönostinten markkinoihin ja valmistajiin.

2.1 Hinattavat henkilönostimet

Hinattava henkilönostin on perävaunualustalle rakennettu nostintyyppi, jota nimensä mukaisesti siirretään paikasta toiseen hinaamalla sitä henkilö- tai kuorma-autolla. Hinattavat henkilönostimet painavat tyypillisesti 1000–4000 kg ja suurin saavutettava työskentelykorkeus on yleensä välillä 8–26 metriä. Käyttövoimana tämän tyyppisille nostimille on useimmiten verkkosähkö, mutta laitteita saa myös polttomoottorilla tai akkupaketilla varustettuna. Esimerkiksi Dinoliftin 160XT mallissa (**Kuva 2.1**) on yhdistetty nivelpuomisto ja kaksiasteinen teleskooppipuomi. Ensisijaisesti 160XT:tä käytetään verkkosähköllä, mutta siihen on saatavilla bensiini- tai dieselagregaatti. Nostinta on myös mahdollista siirtää ilman vetokalustoa helppossa maastossa koneen varustukseen vakiona kuuluvalla ajolaitteella, jonka toiminta perustuu renkaan päälle painettavaan vetorullaan.



Kuva 2.1. DINO 160XT hinattava henkilönostin (Dinolift_[1])

Hinattavat henkilönostimet ovat tyypillisesti nivelpuomi- tai teleskooppipuominostimia. Ne on varustettu laskettavilla tukijaloilla, joiden avulla kone asetetaan vaakatasoon ja laajennetaan koneen tukipinta-alaa. Käyttämällä tukijalkoja voidaan kasvattaa nostimen turvallista sivu-ulottumaa tai suurinta sallittua korikuormaa. Erityisesti teleskooppipuomilla varustettujen nostimien ulottumaa joudutaan rajoittamaan riippuen puomin kulmasta. Tämä johtuu siitä että, korkealle päästäkseen täytyy teleskoopin ojentua tarpeeksi pitkäksi, mutta täyttä pituutta ei voida sallia työskenneltäessä matalalla, koska nostimen sivu-ulottuma olisi tällöin alueella, joka voi aiheuttaa koneen kaatumisvaaran.

Useat henkilönostinvalmistajat tarjoavat vähintään muutaman hinattavan nostinmallin, mutta suurimmat valmistajat keskittyvät pääasiassa muuntotyypisiin nostimiin. Pie-nille valmistajille hinattavat henkilönostimet saattavat kuitenkin olla erittäin tärkeä markkina-alue. Johtuen nostimien keveydestä ja helppokäyttöisyydestä ne ovat tavallisille kuluttajille halvin ja helpoin ratkaisu satunnaisiin töihin. Tästä johtuen hinattavat henkilönostimet ovat vuokraamoiden yksi tärkeimmistä perustuotteista. Esimerkiksi suomalainen Dinolift tarjoaa laajan valikoiman hinattavia henkilönostimia: kokonaisuudessaan 17 mallia kymmeneen eri työskentelykorkeuteen (Dinolift_[2]). Kun taas JLG, yksi maailman suurimmista valmistajista, tarjoaa ainoastaan kahta hinattavaa henkilönostinmallia (JLG_[1]).

2.2 Tela-alustaiset henkilönostimet

Tela-alustaisella henkilönostimella tarkoitetaan tyypillisesti kevyttä puominostinta, joka on varustettu omalla liukuohjatulla ajovoimansiirrolla ja tukijaloilla. Ajovoimansiirto on useimmiten venttiiliohjattu ja muistuttaa rakenteeltaan minikaivurin alustaa. Koneen

maasto-ominaisuudet ovat tyypillisesti huomattavasti hinattavia henkilönostimia parempia ja siirtymiseen työkohteelta toiselle ei tarvita vetokalustoa. Tämän tyyppisiä koneita on myös ulkomuodostaan johtuen nimitetty spider-nostimiksi. Nimitys juontaa juurensa erityisesti joidenkin koneiden tukijalkojen muotoilusta, joka muistuttaa hämähäkin jalkaa. Puomi on useimmiten nivelpuomin ja teleskooppipuomin yhdistelmä, jolla pyritään saavuttamaan kompakti rakenne, joka mahdollistaa pienet kuljetusmitat ja työskentelyn ahtaissa paikoissa. Hinowan Lightlift 20.10 (**Kuva 2.2**) edustaa erittäin hyvin tyypillistä tela-alustaista henkilönostinta. Nostimen ensisijainen käyttövoima saadaan polttomootorilta, mutta varustukseen voidaan lisätä myös sähkömoottorikäyttö. Nostotoimintoja varten kone asetetaan tukijaloille ja puomi koostuu useasta erikseen ohjattavasta osiosta. Erikoisuutena tässä nostintyyppissä Hinowa tarjoaa myös akkukäyttömahdollisuutta, jolloin polttomoottorin tilalle nostimeen asennetaan litium-akusto.



Kuva 2.2. Tela-alustainen Hinowa Lightlift 20.10 -henkilönostin (Hinowa)

Tela-alustaisten nostimien valmistus on keskittynyt pääasiassa pienten ja keskisuurten nostinvalmistajien toiminta-alueelle. Erityisesti Pohjois-Italiassa on merkittävä kes-

kittymä tämän tyyppisten nostinten valmistajia, joihin kuuluvat muun muassa Hinowa, Platform Basket, Oil&Steel, Socage ja BlueLift. Edellä mainittujen valmistajien nostimilla saavutetaan yleensä 12–22 metrin nostokorkeus, poikkeuksena Platform Basket, jonka korkein tela-alustainen nostin ulottuu 32 metrin korkeuteen. Muita merkittäviä eurooppalaisia valmistajia ovat saksalainen Teupen, englantilainen Niftylift, tanskalainen TCA-lift sekä suomalaiset Leguan Lifts ja Dinolift. Teupen tarjoaa 15:sta mallin valikoiman tela-alustaisia henkilönostimia 12–50 metrin nostokorkeuksiin. TCA-lift on puolestaan keskittynyt täysin suuremman kokoluokan tela-alustaisiin nostimiin valikoiman liikkeessä välillä 29–52 metriä. Niftylift ja Leguan Lifts kilpailevat taas samassa kokoluokassa italialaisten valmistajien kanssa. Niftyliftin nostimia on saatavilla 12–17 metrin kokoluokissa ja Leguan Liftsin nostimia 12–16 metrin nostokorkeuksilla. Dinoliftin tela-alustaiset nostimet ovat kokoluokassa 16,5–22 metriä.

Perimmäinen lähtökohta tela-alustaisten nostinten kohdalla on valmistaa kevyitä ja kompakteja henkilönostimia, joiden siirtäminen paikasta toiseen on helppoa ja mahdollisten käyttökohteiden määrä on suuri. Nämä nostimet suunnitellaan tyypillisesti mahdumaan myös kapeista oviaukoista, jolloin nostimia on mahdollista käyttää myös rakennuksissa, joihin muut vastaavilla puomin ominaisuuksilla varustetut nostimet eivät mahdu.

2.3 Raskaat itsekulkevat henkilönostimet

Kuukulkija on suomenkielinen nimitys raskaalle tukijalattomalle henkilönostimelle, jota pystytään siirtämään sen oman voimanlähteen avulla myös puomin ollessa muussa kuin kuljetusasennossa (**Kuva 2.3**).



Kuva 2.3. Genie Z-5130JRT -nivelpuominostin (Genie_[1])

Englannin kielessä tämän tyyppistä nostinta kutsutaan usein nimellä cherry picker, mutta nimityksen kohdalla tulee huomata, että sitä voidaan käyttää yleisnimityksenä myös muun tyyppisistä henkilönostimista. Tämän tyyppisissä nostimissa käytetään yleensä joko nivelpuomia tai teleskooppipuomia. Nostinten paino suhteessa nostokorkeuteen on melko suuri verrattuna hinattaviin ja tela-alustaisiin henkilönostimiin. Tämä johtuu tukijalkojen puuttumisesta, mikä johtaa suureen vastapainon tarpeeseen, kun sivu-ulottumaa kasvatetaan tukipinta-alan pysyessä pienenä.

Kuukulkijat ovat yksi yleisimmistä nostinmalleista ja maailman suurimmat nostinvalmistajat tarjoavat laajan valikoiman tämän tyyppisiä nostimia. Kuukulkijat ovat laajassa käytössä erityisesti suurilla työmailla, joilla tarvitaan hyvää ulottumaa ja hyviä maasto-ominaisuuksia. Työmaalla kuitenkin tulee olla riittävästi liikkumatilaa, jotta kuukulkija mahtuu työskentelemään alueella. Erityisesti teleskooppipuominostimet (**Kuva 2.4**) vaativat merkittävän työskentelytilan.



Kuva 2.4. Teleskooppipuominostin Genie S-60HC (Genie_[2])

Kuukulkijoiden markkinoilla on käytännössä kaksi selvästi hallitsevaa merkkiä JLG ja Genie, joiden laitteita löytyy valtaosalta konevuokraamoista. Merkittävimmät eurooppalaiset kuukulkijoiden valmistajat ovat Niftylift ja Haulotte.

2.4 Kevyet itsekulkevat pyöräalustaiset henkilönostimet

Raskaiden kuukulkijoiden ja erittäin kevyiden tela-alustaisten nostinten väliin sijoittuvat kevyet itsekulkevat pyöräalustaiset nostimet. Tämän tyyppiset nostimet muistuttavat useimmiten ulkoisesti kuukulkijoita, mutta ne on varustettu tukijaloilla, mikä mahdollistaa kevyemmän rakenteen, koska suuren tukipinta-alan ansiosta raskaita vastapainoja ei tarvita. Ohjaus on useimmiten toteutettu kääntyvillä eturenkailla, jolloin kääntösäde on

suurempi kuin tela-alustaisissa nostimissa. Tyypillinen esimerkki tämäntyyppisestä nostimesta on Dinoliftin 205RXT (**Kuva 2.5**).



Kuva 2.5. Pyöräalustainen DINO 205RXT -henkilönostin (Dinolift_[31])

Tyypillisesti ulkomitat ovat hyvin lähellä vastaavia kuukulkijoita, joten verrattuna kevyisiin tela-alustaisiin nostimiin ne eivät toimi yhtä hyvin erittäin ahtaissa tiloissa. Lisäksi ne häviävät todellisessa sivu-ulottumassa kuukulkijoille, johtuen tukijalkojen vaatimasta pystytystilasta. Tällaisilla pyöräalustaisilla nostimilla on usein tela-alustaisia nostimia vastaava työskentelyalue ja pystytystilan tarve, mutta koneiden ajominaisuudet ovat hyvin erilaiset. Pyöräalustaisella nostimella kääntöliikkeet ovat rauhallisia, johtuen kääntyvästä akselistosta ja vakaus maastossa on kapeita tela-alustaisia nostimia parempi, johtuen koneen suuremmasta leveydestä.

2.5 Saksilavat

Saksilavat on yksi yleisimmin käytetyistä nostintyypeistä ja vuokraamoiden tarjonnasta saksilavoja on noin puolet kaikista henkilönostimista. Ne ovat pienemmän kokoluokan siirrettäviä henkilönostimia joiden toiminta perustuu yleensä pyöräalustaan ja saksimekanismiin. Saksilavojen nostokorkeus on yleensä välillä 5–12 metriä ja ne ovat parhaimmillaan tasaisilla alustoilla, kun tarvitaan suurta työkoria ja työskentelykohteelle päästään nousemalla suoraan ylöspäin. Osa saksilavoista on varustettu myös levitettävällä työtasolla (**Kuva 2.6**), jolloin työskentelyaluetta voidaan laajentaa koneen kaatopisteiden ulkopuolelle.



Kuva 2.6. Genie GS-3369 -saksinostin (Genie_[3])

Saksilavoja valmistetaan akku-, verkkovirta- ja polttomoottorikäyttöisinä. Polttomoottorikäyttöiset henkilönostimet ovat useimmiten ulkokäyttöön tarkoitettuja ja niiden alusta on maastokelpoinen mahdollistaen käytön epätasaisilla pinnoilla. Sähkökäyttöisten saksilavojen alusta soveltuu yleensä lähinnä tasaisille lattiapinnoille, jolloin ne ovat enimmäkseen sisäkäytössä. Saatavilla on kuitenkin myös ulkokäyttöön soveltuvia sähköllä toimivia saksilavoja.

2.6 Kiinteäalustaiset henkilönostimet

Kiinteällä alustalla varustetut henkilönostimet ovat usein puominostimia, jotka on rakennettu yksinkertaisen teräskehikon päälle. Tällaista henkilönostinta siirretään paikasta toiseen suuremmilla nostureilla, koska kiinteäalustainen nostin ei pysty itse liikkumaan. Kiinteäalustaisena nostimena voidaan pitää myös kiskojen päälle rakennettua nostinta. Tällöin nostin kykenee siirtymään kiskoja pitkin jonkin matkaa. Niftyliftin DR15 nostin (**Kuva 2.7**) on malliesimerkki kiinteäalustaisesta henkilönostimesta.



Kuva 2.7. Kiinteäalustainen henkilönostin Niftylift DR15 (Niftylift)

Kiinteäalustaisten nostinten merkittävä käyttökohde on korkeat rakennustyömaat. Esimerkiksi teräsrakenteista kerrostaloa rakennettaessa voidaan nostinta käyttää laske-
malla se osin valmiin teräskehikon päälle. Tällöin nostinta voidaan käyttää muun muas-
sa teräsrakenteiden asennuksissa ja viimeistelyssä. Rakennuksen edistyessä nostinta
siirretään ylöspäin sen mukana.

2.7 Autoalustaiset henkilönostimet

Autoalustaisia henkilönostimia valmistetaan hyvinkin erikokoisina malleina aina kym-
menen metrin nostimista yli sataan metriin ulottuviin malleihin. Pienimmissä nostinmal-
leissa alustaksi soveltuu avolava-auto tai pieni kuorma-auto. Suuremmassa kokoluokas-
sa käytetään raskasta kuorma-autoalustaa (**Kuva 2.8**), jotta saavutetaan tarvittava vasta-
paino ja vakavuus. Suurimmissa nostimissa puomin massalla on myös merkitystä alus-
tan kantavuuden riittävyyteen.



Kuva 2.8. Kuorma-autoalustainen henkilönostin Bronto S65XR (Bronto Skylift)

Merkittävän henkilönostinautotyypin muodostavat tikaspuomipaloautot. Nämä eroavat varustukseltaan jonkin verran muista autoalustaisista nostimista, sillä niissä ei välttämättä ole erillistä työkoria. Kuitenkin pääasiassa sammutustyössä käytettävät henkilönostimet on varustettu työ-/pelastuskorilla. Markkinajohtaja raskaissa autoalustaisissa henkilönostimissa on Bronto Skylift.

2.8 Pystypuominostimet

Pystypuominostimet ovat tavallisesti pieniä sisäkäyttöön suunniteltuja henkilönostimia, joita käytetään julkisissa tiloissa kiinteistönhuollossa ja varastoissa keräily- ja hyllytystehtävissä. Nostimissa on joko oma ajovoimansiirto tai ne ovat työnnettävää mallia. Lisäksi osa malleista on varustettu tukijaloilla ja maston päähän kiinnitetyllä nivelpuomilla. **Kuva 2.9** esittää osaa JLG:n pystypuominostinten valikoimasta.



Kuva 2.9. JLG:n mastopuomimalliset henkilönostimet (JLG_[2])

Pystypuominostimet ovat pääsääntöisesti akkukäyttöisiä ja niiden paino liikkuu muutamasta sadasta kilosta noin tuhanteen kiloon. Kevyimpiä malleja ovat työnnettävät

nostimet, kun taas omalla ajovoimansiirrolla varustetut mallit painavat enemmän. Joissain tapauksissa on myös mahdollista siirtää nostinta työtasokohotettuna alennetulla siirtonopeudella.

2.9 Henkilönostinten käyttökohteet

Henkilönostinta käytetään yleensä korvaamaan alumiinitelineitä työskenneltäessä rakennusten seinillä ja kun on päästävä paikkoihin, joita on vaikea tavoittaa muilla keinoin. Tyypillisiä käyttökohteita ovat:

- rakennustyömaat
- LVI-asennukset
- sähkötyöt
- maalaus
- kattotyöt
- kiinteistönhuolto (lamppujen vaihdot, rännien puhdistus yms.)
- teollisuuden asennustehtävät
- tuulivoimaloiden huolto
- puutarhan hoito (puiden oksien poisto)
- hedelmätarhat
- kuvauskaluston nosto (urheilutapahtumat, elokuvat yms.)
- varastokeräily ja hyllytys

Tietyissä kohteissa henkilönostimilta vaaditaan erityisominaisuuksia. Esimerkiksi tehtäessä korkeajännitteisiin järjestelmiin liittyviä sähköasennuksia, on henkilönostimen työkorin oltava sähköisesti eristetty.

Rakennusten sisällä käytetyt henkilönostimet ovat pääasiassa saksinostimia tai pystypuominostimia. Tela-alustaisia puominostimia sekä perässä hinattavia nostimia käytetään myös jossain määrin sisätiloissa. Suuremmilla hallityömailla mahdollista usein työskentelemään kuukulkijoillakin, jotka ovat eniten käytetty henkilönostintyyppi isoilla työmailla. Periaatteena henkilönostimen valinnalle on useimmiten yrittää löytää riittävän ulottuva nostin, jolla työ voidaan suorittaa. Nostimen painolla on merkitystä toimittaessa sisätiloissa tai herkällä alustalla. Lisäksi nostimen kuljetus työmaalle on pienemmässä kokoluokassa ratkaiseva tekijä. Haluttaessa siirtää nostinta henkilöautolla nostimen painolla on suuri merkitys, mutta tarvittaessa suurta nostinta painon merkitys vähenee kuljetusta ajatellessa, koska suurempia nostimia siirretään lähes poikkeuksetta kuorma-autolla. Tuulivoimaloiden huoltoon soveltuvat käytännössä parhaiten suuret autoalustaiset henkilönostimet, koska muuntityyppisten nostimien nostokorkeus on harvoin riittävä.

2.10 Henkilönostinvalmistajien etujärjestö – IPAF

International Powered Access Federation (IPAF) on vuonna 1983 perustettu vuokraamoita, henkilönostinvalmistajia, jälleenmyyjiä ja käyttäjiä edustava voittoa tavoittelematon järjestö. Se pyrkii edistämään turvallista ja tehokasta nostinkäyttöä maailmanlaajuisesti sekä toimii foorumina kaikille aktiivisesti nostinalalla toimiville instansseille. Järjestö on ollut vaikuttamassa moniin suunnittelu-, turvallisuus- ja testikäytäntöihin, jotka ovat vakiintuneet henkilönostinalalle. (IPAF)

Nostinten käyttäjille IPAF tarjoaa ISO 18878 mukaista TÜV:n sertifioimaa koulutusta. Maailmanlaajuisesti yli 90000 käyttäjää koulutetaan vuosittain yli 550 koulutuskeskuksen toimesta. Koulutus kestää yleensä yhden tai kahden päivän ajan sisältäen sekä teoriaa että käytännön harjoituksia. Koulutuksen läpäisseet saavat PAL-kortin (Powered Access License), joka on yleisimmin tunnustettu vakuutus nostinten käyttäjien koulutuksesta. Kortti on voimassa viiden vuoden ajan ja kertoo konetyypit joihin kortinhaltija on saanut koulutuksen. Kortti sisältää lisäksi haltijansa kuvan ja allekirjoituksen, ja kortin voimassa olo voidaan varmistaa IPAF:lta. (IPAF)

3 SIIRRETTÄVÄT LEGUAN-HENKILÖNOSTIMET

Leguan-henkilönostimet ovat Leguan Lifts Oy:n valmistamia kevyitä itsekulkevia henkilönostimia. Leguan Lifts on 1990 perustettu Avant-groupiin kuuluva yhtiö, jonka toiminta-ajatuksena on tarjota kevyitä ja monipuolisia nostinratkaisuja vuokraus- ja ammattilaiskäyttöön.

Alkuvuosinaan Leguan Lifts Oy oli edelläkävijä kevyiden itsekulkevien henkilönostinten segmentissä yhdistäessään muokattuun pienkuormaajan alustaan nivelpuomin, jolla saavutettiin 10 metrin työskentelykorkeus. Kuormaaja-alustan ansiosta myös koneen maasto-ominaisuudet olivat verrattain hyvät moniin muihin nostintyypeihin nähden. Aiemmin Leguan Liftsin mallivalikoimaan on kuulunut nivelpuominostinten lisäksi myös saksilavoja ja hinattavia nostinmalleja.

3.1 Nykyiset henkilönostinmallit

Leguan-henkilönostinmallisto käsittää tällä hetkellä neljä eri mallia: Leguan 125, Leguan 130, Leguan 160 sekä Leguan 50. Ensimmäiset kolme ovat rakenteeltaan samantyyppisiä itsekulkevia tukijaloilla varustettuja nostimia. Leguan 50 on Avant-pienkuormaajaan liitettävä lisälaitte, jolla voidaan suorittaa henkilönostoja.

Ominaisuudet joilla Leguan-henkilönostimet erottautuvat muista markkinoilla olevista tela-alustaisista nostimista ovat erityisesti erilaiset alustavaihtoehdot. Leguan on ainoa liukuohjattu puominostin, joka on saatavilla sekä tela- että pyöräversiona. Pyöräversion etuna on pehmeämpi ajotuntuma verrattuna jäykkiin tela-alustoihin. Lisäksi pyöräalustainen kone kääntyy lattiapinnalla kevyemmin ja vähemmän jälkiä jättäen. Maastossa Leguanin muita tela-alustaisia nostimia korkeampi maavara ja suurempi telapyörähalkaisija erottuvat edukseen ylitettäessä kiviä ja kantoja, koska nousu esteiden yli on huomattavasti pehmeämpää kuin matalalla telastolla varustetuilla koneilla.

Nostotoiminnot ovat Leguan-nostimissa ja muissa tela-alustaisissa henkilönostimissa hyvin samankaltaisia. Suurin osa nostimista ei kuitenkaan sovellu usean yhtäaikaisen ohjausliikkeen toteuttamiseen, mutta Leguan-nostimissa useampia liikkeitä on mahdollista ohjata samanaikaisesti ja hallitusti. Kuitenkaan yksittäisen liikkeen ohjaustarkkuudessa Leguanin manuaalisesti ohjatuilla venttiileillä ei aivan päästä parhaimpien sähköisesti ohjattujen nostinten tasolle.

3.1.1 Leguan 125

Leguan 125 (**Kuva 3.1**) polveutuu suoraan ensimmäisistä Leguan-henkilönostimista. Nostimen alusta ja puomi ovat pysyneet hyvin samankaltaisina yrityksen alkua ajoista lähtien ja nostinta on päivitetty vastaamaan vuosien aikana päivittyneitä määräyksiä ja tekniikoita. Nykymallinen Leguan 125 saavuttaa 12,5 metrin työskentelykorkeuden ja kuuden metrin sivu-ulottuman painaen varustelusta riippuen 1500–1700 kg. Leguan 125:n kuljettaminen on pyritty tekemään mahdollisimman helpoksi, ja sitä voidaankin siirtää työmaalta toiselle millä tahansa riittävän kantavuuden omaavalla perävaunulla. Sille on myös valmistettu erikoisperävaunu, joka on tehty nostimen mittojen mukaan ja sallii nostimen asettamisen tukijaloilleen suoraan sen päältä.



Kuva 3.1. Leguan 125 -henkilönostin (Leguan Lifts_[1])

Leguan 125 -nostinta myydään erilaisina alustaversioina. Saatavilla on useampia eri rengasmalleja sekä telamalli. Käyttövoima saadaan normaalisti polttomootorilta ja kone on mahdollista varustaa myös sähkömootorilla. Voimanlähteellä pyöritetään hydraulipumppua ja kaikki koneen liikkeet on toteutettu hydraulimoottoreilla ja hydraulisylintereillä, joita ohjataan hydrauliventtiileillä.

Koneessa on turvatoimintoja, kuten puomin ulottuman valvonta, puomin kuljetusasennon valvonta, tukijalkavalvonta sekä korikuorman valvonta. Näillä turvatoiminnoilla varmistetaan, että nostin ei missään normaalissa käyttötilanteessa vaaranna käyttäjän turvallisuutta. Turvatoiminnot estävät koneen käyttäjää tekemästä vaarallisia liikkeitä ja antavat käyttäjälle varoituksia tilanteissa, joissa koneen käyttö ei ole turvallista.

3.1.2 Leguan 160 & 130

Leguan 160 (**Kuva 3.2**) on Leguan Liftsin suurin nostinmalli, jolla saavutetaan 16 metrin työskentelykorkeus ja seitsämän metrin sivu-ulottuma. Verrattuna Leguan 125 -nostimeen on Leguan 160 selvästi uudempaa suunnittelua ja sillä on pyritty vastaamaan kysyntään 16 metrin kokoluokassa oleville nostimille. Leguan 160 on erittäin vakaa henkilönostin ja sen koko toiminta-alue on käytössä täydellä 200 kg kuormalla työtasolla. Voimanlähteenä käytetään dieselmoottoria ja sen rinnalle on saatavissa sähkömoottori. Ohjausjärjestelmä on toteutettu samoin periaattein kuin Leguan 125 -nostimessa.



Kuva 3.2. Leguan 160 -henkilönostin (Leguan Lifts_[2])

Leguan 130 (**Kuva 3.3**) on pohjimmiltaan Leguan 160 -nostimen sisarmalli, jossa puomia on hieman yksinkertaistettu verrattuna isompaan malliin. Leguan 130 -nostimen työskentelykorkeus on 13 metriä ja sillä on kuuden metrin sivu-ulottuma. Leguan 130 on suunniteltu erityisesti Australian markkinoita varten, jossa nostimen käyttäjällä tulee olla suoritettuna erityinen pätevyys, mikäli henkilönostimen nostokorkeus on suurempi kuin 15 metriä. Varustelultaan Leguan 130 vastaakin täysin Leguan 160 nostinta.



Kuva 3.3. *Leguan 130 -henkilönostin (Leguan Lifts_[3])*

Kuten Leguan 125 -mallissa, myös Leguan 130 ja 160 -malleissa on vastaavia turvatoimintoja. Koneet valvovat tukijalkojen oikeaoppista asettamista nostoa varten, rajoittavat koneen toimintoja riippuen onko koneen puomi kuljetus- vai nostoasennossa sekä estävät koneen käytön ylikuormalla. Leguan 160 ja 130 eroavat Leguan 125 -mallista turvatoimintojen osalta siten, että ne eivät sisällä puomin ulottuman valvontaa, koska niiden stabiiliteetti on riittävä täydellä 200 kg korikuormalla. Tämän vuoksi niissä on ainoastaan ylikuormanvalvonta.

3.1.3 Leguan 50

Leguan 50 (**Kuva 3.4**) on Avant-pienkuormaajaan liitettävä lisälaitte, joka tekee pystysuoran nostoliikkeen mahdollistaen työskentelyn viiden metrin korkeudessa. Työkorin lattiataso on tällöin likimain kolmen metrin korkeudella.



Kuva 3.4. Leguan 50 -lisälaite Avant-pienkuormaajaan (Leguan Lifts_[4])

Nostin ottaa käyttövoimansa Avantin lisälaiteliitännästä ja toimii manuaalisesti ohjatulla hydrauliventtiilillä. Koska Leguan 50:n nostokorkeus on rajoitettu kolmeen metriin, se ei ole EY-tyyppihyväksynnän alainen henkilönostolaite. Näin ollen muun muassa henkilönostinten vuosittainen tarkastus ei koske Leguan 50:tä.

Leguan 50 onkin omiaan satunnaiseen työskentelyyn johtuen edullisesta hankintahinnasta sekä helposta siirrettävyydestä pienkuormaajalla. Koska laitetta siirretään pienkuormaajalla, voidaan se viedä myös selvästi hankalampiin maastoihin, kuin monet muut nostimet. Toisaalta siirto pienkuormaajalla voi olla myös rajoite, sillä laite tarvitsee toimiakseen pienkuormaajaa ja sitoo sen pois muista työtehtävistä käytön ajaksi.

3.2 Tulevaisuuden vaatimukset

Viimeisen kahdenkymmenen vuoden aikana pienemmän kokoluokan henkilönostimet ovat kehittyneet teknisesti erittäin paljon ja niihin on vähitellen tuotu myös suurempien henkilönostinten ominaisuuksia. Samaan aikaan turvallisuusvaatimukset ovat kiristyneet jatkuvasti, mikä osaltaan antaa painetta kehittyneemmän teknologian käyttöön. Sähköohjattujen venttiilien määrä koneissa on kasvattanut osuuttaan verrattuna venttiileiden mekaaniseen ohjaukseen, mutta molemmat venttiileiden ohjaustavat ovat yhä käytössä, kun puhutaan alle 20 metrin nostokorkeuteen pystyvistä nostimista. Viime vuosina väyläteknologia on myös siirtynyt pieniin henkilönostimiin. Todennäköisesti väyliin siirtymistä on hillinnyt ohjelmistoturvallisuusvaatimukset ja hieman korkeampi hankintahinta verrattuna perinteiseen teknologiaan. Väylään siirtymistä kuitenkin puoltaa järjestelmien mekaanisen toteutuksen yksinkertaistuminen ja uusien ominaisuuksien lisäämisen mahdollisuus.

Henkilönostinmarkkinoilla on havaittavissa trendi, jossa puominostimet ovat kasvattamassa osuuttaan verrattuna saksinostimiin, joita on tällä hetkellä likimain puolet kaikista käytössä olevista henkilönostimista (IPAF Powered Access Rental Report Europe – 2011, s. 34). Puominostimet ovat monipuolisuudestaan johtuen saksinostimia useammin käytössä erikoistarkoituksissa. Erityisesti hyvä sivu-ulottuma ja suurempi nostokorkeus puoltavat puominostinten käyttöä saksinostinten sijasta.

Vuosien aikana käyttäjien vaatimukset nostinten ominaisuuksille ovat myös kasvaneet. Henkilönostinten käytön yleistyessä nostimen käyttäjä on erittäin usein varsin kokematon, joten vaatimustaso koneen automatiikan osalta kasvaa jatkuvasti. Tällä hetkellä erittäin kysytty ominaisuus on koneen automaattitasaus. Koneen tulisi siis käskystä osata ajaa automaattisesti tukijalat maahan ja nostaa kone vaakatasoon, jonka jälkeen kone on suoraan nostovalmiudessa. Tämä ei varsinaisesti ole uusi ominaisuus henkilönostimissa, mutta pienissä nostimissa se on yleistynyt vasta viime vuosina. Koneen talutusmahdollisuus eli koneen ohjaaminen vieressä kävellen on myös toivottu ominaisuus ajettaessa konetta vaikeassa maastossa, kuljetusauton lavalle tai perävaunulle. Erikoisominaisuutena kysytään lisäksi automaattisia puominohjausliikkeitä, kuten seinän seurantaa tai puomin automaattista kuljetusasentoon ajoa.

3.3 Tavoitteet uuden ohjausjärjestelmän suunnittelussa

Uuden UltraLift-ohjausjärjestelmän tavoitteena on päivittää Leguan-henkilönostimet vastaamaan nykyiseen ja tulevaisuuden kysyntään koneen ominaisuuksien ja toimintojen osalta. Tärkeimpiä uusia toimintoja ohjausjärjestelmässä ovat automaattitasaus ja koneen talutus. Automaattitasauksen lisäämisellä järjestelmään pyritään vastaamaan ominaisuuden kasvavaan kysyntään. Tällä pyritään myös tekemään koneen kanssa toimiminen helpommaksi aloittelevalle käyttäjälle, kun koneen automatiikka hoitaa koneen asettamisen oikeaan asentoon puomin käyttöä varten. Koneen talustustoiminnolla on tarkoitus tehdä koneen käytöstä mukavampaa ajettaessa konetta vaikeisiin paikkoihin. Koneen kuljettaja voi tämän ominaisuuden myötä valita ajaako konetta korissa seisten vai koneen rinnalla kävellen. Talustustoiminto toteutetaan radio-ohjauksena, jolloin taataan koneen käyttäjälle vapaa liikkuvuus ja mahdollisuus siirtyä kaikissa tilanteissa paikkaan, josta on paras näkyvyys koneen ympäristöön ja jossa kone itsessään ei voi aiheuttaa käyttäjälle vaaraa.

Sähköohjattujen järjestelmien lisääntyessä myös sähkövikojen määrä usein kasvaa. UltraLift-ohjausjärjestelmällä pyritään kuitenkin vähentämään koneessa esiintyvien vikojen määrää ja helpottamaan vianetsintää. Näiden tavoitteiden saavuttamiseksi ohjausjärjestelmässä käytetään elektronisia ohjainyksiköitä, jotka mahdollistavat laajan diagnostiikan lisäämisen järjestelmään. Diagnostiikan avulla on näin ollen mahdollista löytää helposti yksittäisistä komponenteista tai kaapeleiden rikkoutumisesta johtuvia vikoja. Järjestelmä tulee mahdollistamaan myös hälytyslokin lisäämisen järjestelmään.

Nykyisin koneen liikenopeudet säädetään käsin usealla kuristusventtiilillä. Uuden ohjausjärjestelmän myötä voidaan koneen liikenopeuksia säätää suoraan ohjausjärjes-

telmällä muuttamalla toimilaitteen ohjausventtiilin suurinta sallittua avautumaa. Tämä mahdollistaa järjestelmän alustavan parametroidin hyvinkin lähelle haluttuja arvoja ja koneen käyttöönotossa tehdään korkeintaan hienosäätöjä ohjausparametreihin. Järjestelmällä on myös mahdollisuus toteuttaa sähköisesti useampia nopeusalueita rajoittamalla ohjelmallisesti venttiileiden ohjausvirtoja.

UltraLift-ohjausjärjestelmää tullaan käyttämään useissa eri nostinmalleissa, jolloin sitä hyödynnetään modulaarisena osana nostintuoteperheessä. Eri nostinten puomirakennetta saattaa vaihdella, jonkin verran riippuen koneen mallista ja ominaisuuksista, mutta tavoitteena on, että samaa ohjausjärjestelmää pystyttäisiin sellaisenaan tai pienellä parametrisoinnilla hyödyntämään useissa eri nostinmalleissa. Tämä ei hyödytä ainoastaan koneiden tuotannon helpottamisessa vaan edistää myös käyttäjäystävällisyyttä. Riippumatta koneen mallista käyttöliittymä pysyy samanlaisena, jolloin käyttäjän, joka on käyttänyt ennen yhtä mallia, on helppo siirtyä käyttämään myös toista mallia.

Hydraulijärjestelmää pyritään kehittämään energiatehokkaammaksi vähentämällä pitkien hydrauliletkujen määrää komponenttien järkevällä sijoittelulla. Kustannustaso huomioon ottaen käytetään mahdollisimman hyvin järjestelmään soveltuvia komponentteja ja venttiililohkoja. Uuden ohjausjärjestelmän myötä luovutaan täysin käsin ohjattujen venttiilien käytöstä ja siirrytään sähköohjattuihin venttiileihin. Järjestelmässä yhdistellään proportionaali-venttiileitä ja on/off -venttiileitä pyrkien saavuttamaan koneen entistä parempi ohjattavuus ja ohjaustarkkuus.

3.4 Uusi UltraLift-mallisarja

Uuden ohjausjärjestelmän mukana lähdetään toteuttamaan myös uuden mallisarjan suunnittelua. Näin ollen myös ensimmäinen nostinmalli, jossa uutta ohjausjärjestelmää käytetään, tulee olemaan myös fyysisesti täysin uusi nostinmalli. Uusi malli sijoittuu samaan kokoluokkaan nykyisten nostinmallien kanssa ja ajan myötä tulee korvaamaan osan nykyisistä malleista.

Ensimmäinen UltraLift-sarjan nostin on nimeltään Leguan 135 (**Kuva 3.5**) ja se sijoittuu kokoluokkaan 12–14 metriä ja voidaan versioda kahdeksi eri nostimeksi hyödyntämällä ohjausjärjestelmän ja puomin modulaarista rakennetta. Nostimen perusversio sisältää ainoastaan puomin perusliikkeet: nosto, kääntö ja teleskooppi. Täydessä versiossa nostin sisältää myös jib-puomin ja työkorin käännön. Alustavaihtoehdot ovat aiempien nostinmallien tapaan pyörä- ja tela-alusta.



Kuva 3.5. *Leguan 135 -henkilönostin*

Tulevaisuudessa mallisarjan laajentaminen korkeampiin nostimiin päin on mahdollista hyödyntäen kehitettävää ohjausjärjestelmää Leguan 160 -nostimessa ja suunnitteleamalla uusia malleja 18 ja 20 metrin kokoluokkaan. Yleisesti ottaen suurin etu uudesta sähköisestä ohjausjärjestelmästä saadaan juuri suuremmissa henkilönostinmalleissa.

4 OHJAUSJÄRJESTELMIEN SUUNNITTELU-STANDARDIT JA MÄÄRÄYKSET

Yleensä ohjausjärjestelmien suunnittelu on tavallisten ohjaustoimintojen osalta melko vapaata eikä toteutukselle normaalisti aseteta erityisiä rajoituksia. Turvallisuuteen liittyvien ohjausjärjestelmien suunnittelu on kuitenkin vahvasti standardisoitu. Konekohtaisissa standardeissa on kuvattu vaatimukset, jotka ohjausjärjestelmän tulee täyttää toiminnallisen turvallisuuden osalta. Tällainen konekohtainen standardi on esimerkiksi siirrettävien henkilönostinten standardi EN 280, joka asettaa vaatimukset muun muassa siirrettävien henkilönostinten vakavuudelle, mekaaniselle rakenteelle ja turvallisuudelle.

Konekohtaisissa standardeissa esitetään usein vain vaatimustaso turvatoiminnolle, eikä niinkään kuinka turvatoiminnon luokitus lasketaan tai osoitetaan. Standardissa saatetaan kuitenkin olla esimerkkejä toteutustavoista, joilla vaadittava turvatoiminto voidaan toteuttaa, vaatimukset täyttävästi. Työkoneiden turvallisuuteen liittyvien ohjausjärjestelmien suunnittelussa tulisi noudattaa konekohtaisissa standardeissa viitattuja perus- ja ryhmästandardien ohjeita.

Tässä luvussa tutustutaan tärkeimpiin siirrettävien henkilönostinten ohjausjärjestelmien suunnittelua ohjaaviin määräyksiin ja standardeihin. Käsiteltävät standardit sisältävät osittain myös muita henkilönostimiin kohdistuvia ohjeita ja määräyksiä, mutta niitä ei tässä kohtaa käsitellä syvällisemmin.

4.1 Konedirektiivi ja koneasetus

Konedirektiivi 2006/42/EY ja koneasetus VNa 400/2008 liittyvät ohjausjärjestelmän suunnitteluun muun muassa turvakomponenttien ja järjestelmän turvallistamisen osalta. Konedirektiivissä esitetään yleisellä tasolla erityyppisille koneille ja laitteille asetettuja turvallisuusvaatimuksia, jotka koneen tulee täyttää, jotta koneeseen voidaan kiinnittää vapaan liikkuvuuden osoittava CE-merkintä. Tässä luvussa käsitellään konedirektiivin asettamia vaatimuksia ohjausjärjestelmien toteutukselle ja turvallisuudelle.

Koneasetuksessa määritellään turvakomponentin olevan sellainen komponentti, joka toimii turvatoiminnon toteuttamiseksi, on saatettu markkinoille itsenäisesti, ei ole välttämätön koneen toimimisen kannalta tai joka voidaan korvata tavanomaisilla komponenteilla koneen toimimiseksi, ja jonka vikaantuminen tai toimintahäiriö vaarantaa henkilöiden turvallisuuden. (VNa 12.6.2008/400)

Mikäli koneen valmistuksessa käytetään yhdenmukaistettuja standardeja, joihin on viitattu Euroopan unionin virallisessa lehdessä, katsotaan kyseisen koneen täyttävän yhdenmukaistetun standardin olennaiset terveys- ja turvallisuusvaatimukset (VNa

12.6.2008/400). Siirrettävien henkilönostinten suunnittelussa käytettävä yhdenmukaisesti standardi on EN 280.

Konedirektiivin liitteessä 1 esitetyissä yleisissä periaatteissa vaaditaan koneen valmistajaa suorittamaan koneelle riskin arviointi, jonka tulokset on otettava huomioon koneen suunnittelussa. Riskin arviointi ja riskin pienentäminen määritellään iteratiiviseksi prosessiksi, johon kuuluu koneen raja-arvojen määrittely sekä koneen mahdollisesti aiheuttamien vaarojen ja niihin liittyvien vaaratilanteiden tunnistaminen. Prosessissa on arvioitava riskin suuruus sekä merkitys ja poistettava tai pienennettävä löydettyihin vaaroihin liittyviä riskejä direktiivissä kuvattujen turvallistamisen periaatteiden mukaisesti. Turvallistamisen periaatteisiin kuuluu muun muassa koneen suunnittelu ja rakentaminen siten, että se soveltuu käyttötarkoitukseensa ja sen käyttö, säätö ja huolto onnistuvat henkilöitä vaarantamatta. Valmistajan on ensisijaisesti pyrittävä poistamaan riskit, toissijaisesti pienentämään riskiä ja viimeiseksi tiedottamaan käyttäjää koneen jäännösriskeistä. Koneen valmistajan tulee ennakoida kohtuudella oletettavissa oleva väärinkäyttö ja suunniteltava kone siten, että epätavallinen käyttö ei ole mahdollista, jos siitä voi aiheutua riskejä. Lisäksi turvallistamisen periaatteisiin kuuluu henkilösuojaimista johtuvien käyttöä rajoittavien tekijöiden huomioonottaminen suunnittelussa ja tarvittavien erikoislaitteiden ja varusteiden toimittaminen koneen mukana. (Konedirektiivi, s. 35–36. 2006)

Konedirektiivin yleiset vaatimukset ohjausjärjestelmille on kuvattu sen liitteen 1 luvussa 1.2. Direktiivin mukaan ohjausjärjestelmät on suunniteltava ja rakennettava sellaisiksi, että ne estävät vaaratilanteiden syntymisen. Esimerkiksi ohjausjärjestelmän laitteisto tai ohjelmistoviat sekä logiikkavirheet eivät saa aiheuttaa vaaratilanteita, eikä kone saa käynnistyä odottamattomasti. Lisäksi turvalaitteiden on pysyttävä toimintakykyisinä tai annettava pysäytyskäsky. Käytettäessä langatonta ohjausta on saatava aikaan automaattinen pysäytyskäsky, mikäli oikeita ohjaussignaaleita ei saada tai yhteys menetetään. Kauko-ohjausjärjestelmä saa vaikuttaa vain koneeseen, johon se on suunniteltu ja kussakin ohjain yksikössä tulee olla yksiselitteisesti osoitettuna, mitä konetta yksiköstä ohjataan. Kauko-ohjattava kone saa reagoida vain sille tarkoitetuista ohjausyksiköistä annettuihin signaaleihin. (Konedirektiivi, s. 37–38, 56. 2006)

Ohjauslaitteita käsitellään konedirektiivin liitteen 1 luvussa 1.2.2. Tärkeätä ohjauslaitteiden suunnittelussa on tehdä ohjainlaitteista selkeitä ja turvallisia. Ohjauslaitteiden liikkeen tulisi vastata mahdollisimman hyvin niiden vaikutusta ja ne tulee sijoittaa vaara-alueiden ulkopuolelle siten että niiden käyttö ei aiheuta riskejä. Käyttäjän tulee jokaiselta ohjauspaikalta pystyä varmistumaan, ettei kukaan ole koneen vaara-alueella. (Konedirektiivi, s. 38. 2006)

Konedirektiivi jakaa pysäytystoiminnot kolmeen osaan: normaaliin pysäytykseen, toiminnalliseen pysäytykseen ja hätäpysäytykseen. Normaalisessa pysäytyksessä koneessa olevaa pysäytyslaitetta käyttämällä on voitava pysäyttää kone kokonaan. Jokainen työasema on varustettava pysäytyslaitteella, joka pysäyttää vaaroista riippuen joko osan tai kaikki koneen toiminnot siirtäen koneen turvalliseen tilaan. Pysäytyslaitteen on oltava ensisijainen käynnistyslaitteisiin verrattuna ja vaarallisten toimintojen pysähtyminen on

energian syötön niihin katkettava. Toiminnallisessa pysäytyksessä energiansyöttöä toimilaitteisiin ei katkaista, jolloin pysäytystilaa on valvottava ja ylläpidettävä. Hätäpysäytyslaite on oltava koneessa aina lukuun ottamatta tilannetta, jossa hätäpysäytyslaite ei vähentäisi riskiä tai muutoin haittaisi riskin hallintaa. Hätäpysäytyslaitteen on oltava helposti käytettävissä ja sen on oltava lukittuvaa tyyppiä. Lisäksi sen vapauttaminen ei saa käynnistää konetta uudelleen. Käynnistystoiminto saakin olla mahdollinen ainoastaan, kun vaikutetaan siihen tarkoitettuun ohjauslaitteeseen. Sama koskee uudelleenkäynnistystä tai toimintaolosuhteiden huomattavaa muuttamista, mutta myös muun tarkoituksellisen laitteen käyttäminen on sallittua, jos se ei aiheuta vaaratilannetta (Konedirektiivi, s. 39–40. 2006)

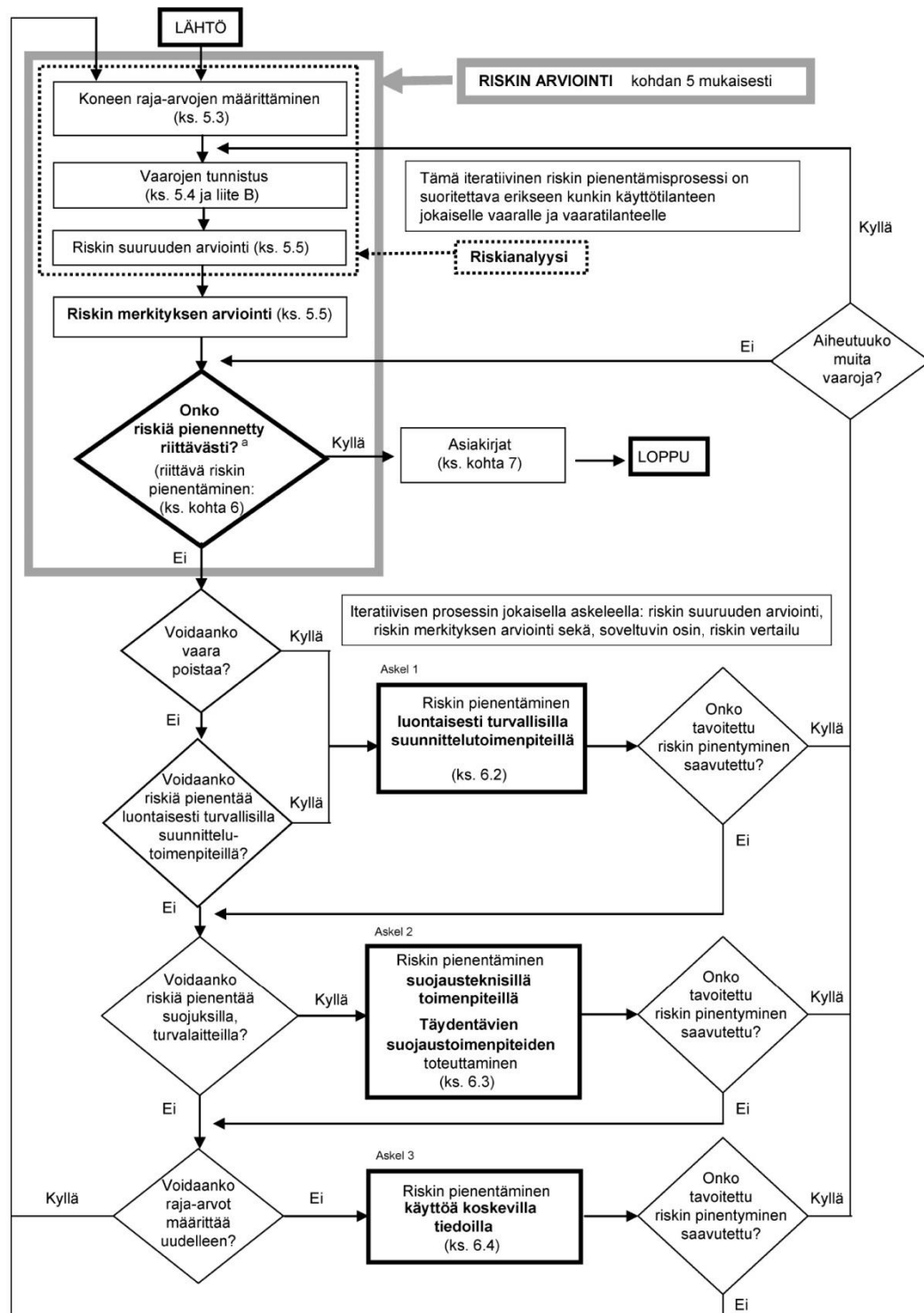
Kävellen ohjattavan koneen, joka liikkuu omalla käyttövoimalla, liikkeet saavat toimia ainoastaan pakko-ohjatusti. Jos kuljettaja ei vaikuta asianomaiseen ohjainlaitteeseen, ei liikettä saa tapahtua eikä kone saa lähteä liikkeelle, kun moottori käynnistetään. (Konedirektiivi, s. 54. 2006).

4.2 Riskianalyysi – ISO 12100

Standardin ISO 12100 ensisijainen tarkoitus on esittää suunnittelijoille yleiset puitteet sekä ohjeet päätöksentekoon koneita kehitettäessä. Tarkoituksena on että suunnittelijat pystyisivät kehittämään koneita, jotka ovat turvallisia sellaisessa käytössä, johon ne on tarkoitettu. Standardi myös määrittelee turvallisuuden standardit kolmeen luokkaan: A-tyyppin standardit ovat turvallisuuden perusstandardeja, jotka esittävät perusteet, suunnitteluperiaatteet ja yleiset näkökohdat, joita voidaan soveltaa koneisiin. B-tyyppin standardit ovat turvallisuuden ryhmästandardeja, jotka käsittelevät yhtä turvallisuusnäkökohtaa tai yhtä sellaista suojausteknistä laitetta, jota voidaan käyttää useissa koneryhmissä. C-tyyppin standardit ovat konekohtaisia turvallisuusstandardeja, jotka käsittelevät tietyn koneen tai koneryhmän yksityiskohtaisia turvavaatimuksia. (SFS-EN ISO 12100:2010)

Standardin määrittelyjen mukaisesti siirrettävien henkilönostinten suunnittelustandardi EN 280 on C-tyyppin standardi. Muita C-tyyppin standardeja ovat esimerkiksi ISO 15998 maansiirtokoneista ja EN 81 hisseistä.

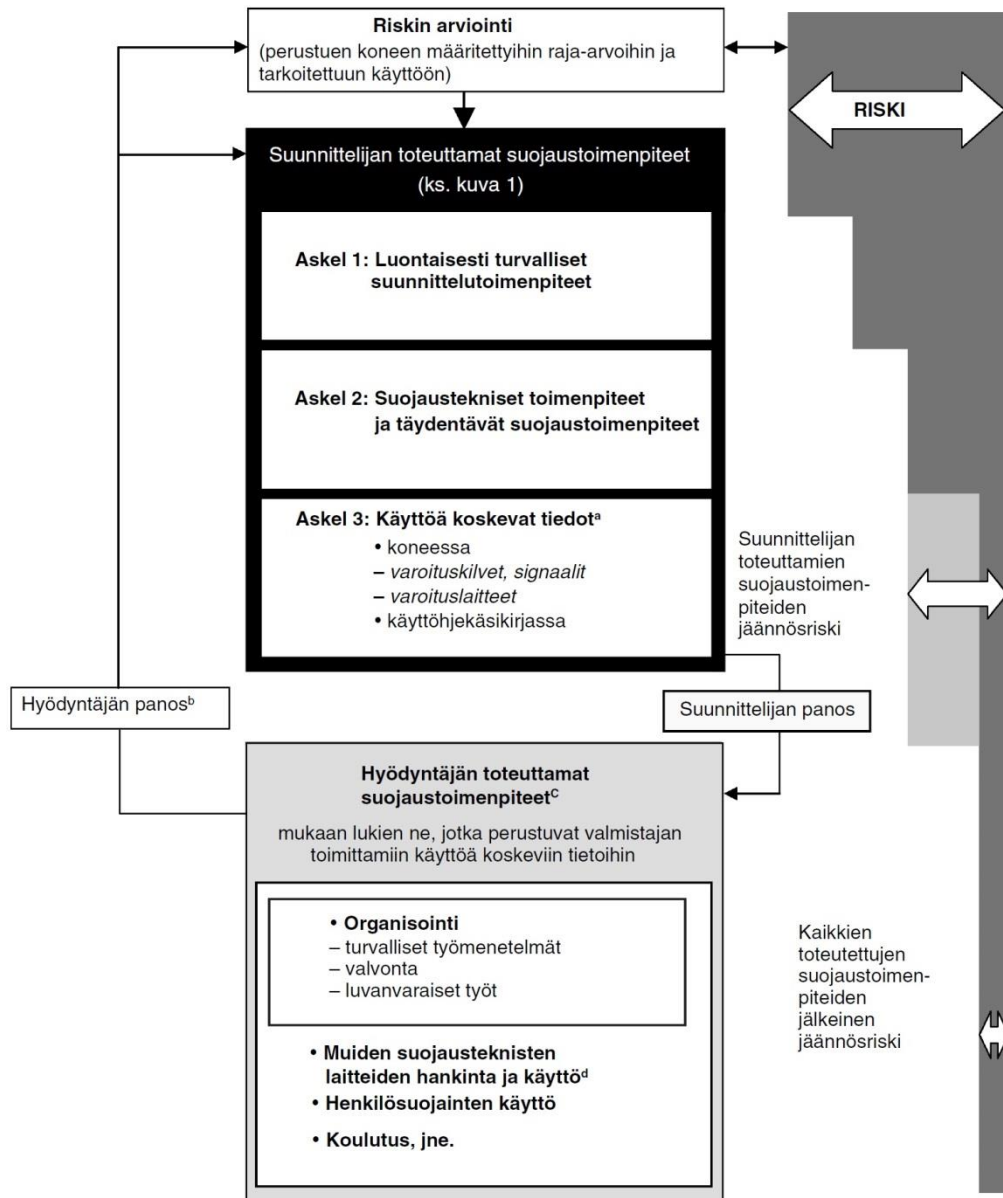
Riskin arvioinnin ja riskin pienentämisen strategiaan kuuluu seuraavat suunnittelijan toteuttamat toimenpiteet: koneen raja-arvojen määrittäminen ja kohtuudella ennakoitavissa oleva väärinkäyttö sekä vaarojen ja vaaratilanteiden tunnistaminen. Suunnittelijan on arvioitava eri vaaratilanteiden riskin suuruus, riskin merkitys ja tehtävä päätös riskin pienentämisen tarpeesta sekä poistettava vaara tai pienennettävä siihen liittyvää riskiä. Nämä toimet tulee tehdä edellä esitetystä järjestyksessä ja prosessia on usein tarpeen iteroida, jotta päästään haluttuun lopputulokseen. **Kuva 4.1** sisältää vuokaavioesityksenä riskin arvioinnin ja pienentämisen strategian.



Kuva 4.1. Riskin pienentämisen strategia (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 30)

Kuvasta käy hyvin ilmi prosessin iteratiivinen luonne. Prosessissa riskiä käsitellään niin kauan, että vastauksena kohtaan ”onko riskiä pienennetty riittävästi?” tulee vastaukseksi kyllä. Riskinarviointiprosessissa käytetyt tiedot, tehdyt arviot sekä toimenpiteet ja täytetyt lomakkeet liitetään koneen asiakirjoihin. Tämän vuoksi riskin arvioinnin ja pienentämisen prosessi on aiheellista dokumentoida asianmukaisesti prosessin aikana, jolloin saadaan aikaan johdonmukainen dokumentti.

Suunnittelijan näkökulmasta prosessin edetessä laitteen riskiä pienennetään jatkuvasti käyttäen erilaisia suunnittelutoimenpiteitä. **Kuva 4.2** esittää riskianalyysin enemmän suunnittelijan näkökulmasta. Prosessi lähtee riskin arvioinnista, jonka perusteella toteutetaan erilaisia suojaustoimenpiteitä. Jokaisen askeleen jälkeen koneeseen liittyvä riski pienenee ja lopulta päädytään johonkin hyväksyttävään jäännösriskiin.



Kuva 4.2. Riskianalyysi suunnittelijan näkökulmasta (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 32)

Kuva esittää myös koneen hyödyntäjän vaikutuksen jäännösriskiin. Osa suunnittelutoimenpiteistä ohjaa koneen käyttötapoja turvalliseen suuntaan, mutta jotta arvioitu jäännösriski pitää myös todellisuudessa paikkansa, on koneen hyödyntäjän toteutettava suunnitelmien mukaisia suojaustoimenpiteitä.

UltraLift-projektissa ISO 12100 -standardia käytettiin henkilönostimeen liittyvien riskianalyysien yleisohjeena. Sen avulla haettiin riskin arviointia varten tarvittavat tiedot, määritettiin koneen raja-arvot sekä arvioitiin riskin suuruutta ja merkitystä. Riskien

pienentämiseen haettiin sopivia toimintamalleja ja riskianalyysin dokumentaatio vaatimukset saatiin suoraan standardista. Standardin ISO 12100 tukena käytettiin myös teknistä raporttia SFS-ISO/TR 14121-2, koska siihen viitataan kattostandardissa ja se sisältää kuvauksia eri menetelmien soveltamisesta käytännössä. Erityisesti teknisen raportin sisältämiä työkaluja ja lomakepohjia käytettiin riskin arvioinnin toteutuksessa.

4.3 Siirrettävien henkilönostinten suunnittelu – EN 280

Siirrettävien henkilönostinten suunnittelustandardi EN 280 pitää sisällään siirrettäviin henkilönostimiin liittyvät ohjeet ja määräykset koskien suunnittelulaskelmia, vakavuutta, rakennetta, turvallisuutta, tarkastuksia ja testejä. Se on harmonisoitu C-tyypin standardi, ja näin ollen standardin mukainen suunnittelu toteuttaa pääosin konedirektiivin vaatimukset, jotka perustuvat konetyypeille tehtyyn riskianalyysiin.

Standardi jakaa henkilönostimet kolmeen tyyppiin ja kahteen ryhmään, joista tässä työssä käsitellään vain vaatimuksia liittyen ryhmän B ja tyyppin 1 siirrettäviin henkilönostimiin. Tämän tyyppisen siirrettävän henkilönostimen siirto on sallittu vain silloin, kun sen työtaso on kuljetusasennossa. Nostotilanteissa sen kuorman painopisteen pystysuora projektio voi olla kaatumisreunojen ulkopuolella. (SFS-EN 280: 2013, s. 7-8)

Yleisesti standardissa määrätään, että ohjainlaitteet on suunniteltava siten, että niiden tahaton käyttö on mahdollisimman hyvin estetty ja että ohjainten on oltava pakko-ohjautuvaa mallia. Lisäksi standardi sisältää ohjeita ohjainlaitteiden sijoittamiselle työtasolla ja rungossa. Standardissa on määritetty tietytjä koneen valvontatoimintoja turvatoiminnoiksi, joille on osoitettava vaaditun toiminnallisen turvallisuuden tason toteutuminen.

Vuonna 2013 astui voimaan uusi EN 280 -standardi, jossa turvallisuuteen liittyvien toimintojen suoritustasot on määritetty ISO 13849-1 mukaisesti, kun aiemmassa painoksessa viitattiin jo kumottuun EN 956-1 -standardiin. Verrattuna vanhempiin standardin versioihin uudessa EN 280 -standardissa on tarkennettu turvallisuuteen vaikuttavien ominaisuuksin määrittelyä ja selkeytetty tulkinnanvaraisia kohtia. Edeltäjistään poiketen EN 280:2013 määrittelee myös langattomien ohjauslaitteiden vaatimukset henkilönostintäytössä.

UltraLift-projektissa EN 280 on ensisijainen ohjenuora henkilönostimen vaatimusten mukaiselle suunnittelulle. Näin ollen henkilönostimen mekaaninen rakenne sekä ohjausjärjestelmä toteutettiin siten, että se vastaa kaikkia suunniteltavaan konetyyppiin kohdistuvia vaatimuksia. Koneelle tehtävä EY-tyyppihyväksyntä perustuu EN 280 mukaisiin suunnittelunormeihin ja koneelle tehtävät kokeet ja tarkastukset on määritetty tässä standardissa.

Standardin EN 280 vaatimusten lisäksi suunnittelussa tulee huomioida myös Euroopan ulkopuolella käytettävät suunnittelustandardit. Australian ja Uuden-Seelannin henkilönostinstandardi AS/NZS 1418.10-2011 vastaa hyvin pitkälle EN 280 -standardia, mutta asettaa joitakin lisävaatimuksia. Standardien välillä on hyvin vähän varsinaisia ristiriitoja, joten molemmat standardit toteuttava suunnittelu on mahdollista.

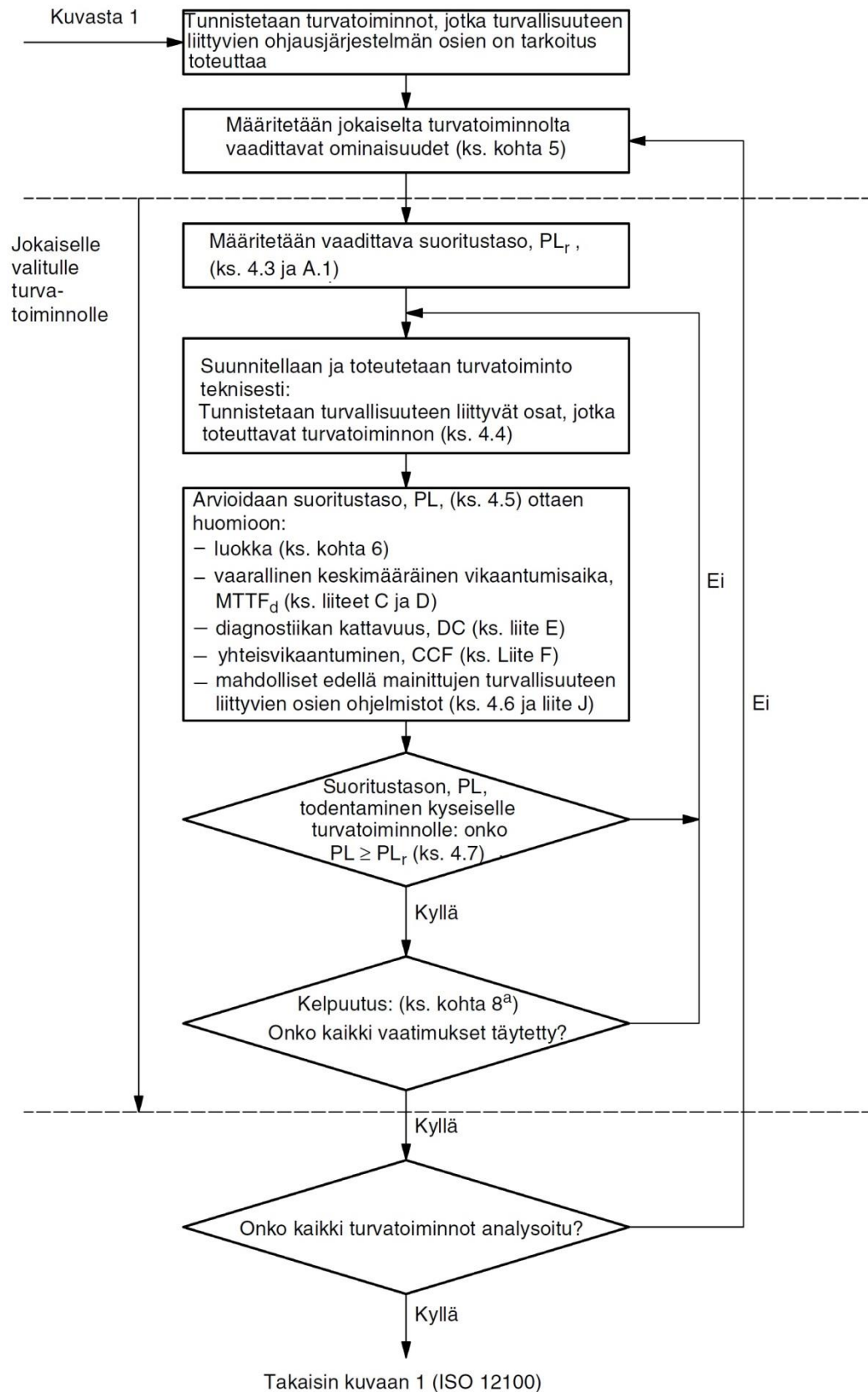
ilman suurempia vaikeuksia. Yhdysvalloissa käytössä oleva ANSI A92.5-2006 eroaa tyypiltään Euroopan ja Australian standardeista. Se ei sisällä juurikaan valmiita suunnitteluohjeita, mutta määrittelee vaatimukset henkilönostimille niille tehtävien testien kautta ja esittää vaatimukset tietyille nostimen rakenteille. Euroopan ja Australian standardeihin sisältyvät eri turvatoimintojen toiminnallisen turvallisuuden tasot eivät sisälly Yhdysvaltain standardiin, joten ne tulee määrittää riskianalyysin kautta. Käytettäessä Euroopan tai Australian suunnittelustandardeja voidaan tukeutua standardin laatijoiden toteuttamaan riskianalyysiin turvallisuuden tason määrittämisessä. Tukijalallisten henkilönostinten erityispiirteet on otettu ANSI-standardissa huomioon heikosti eikä standardi anna selkeitä esimerkkejä testitapausten soveltamisesta tukijalallisille nostimille.

4.4 Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmien osat – ISO 13849

Noudatettaessa EN 280 -suunnittelustandardia henkilönostimelle on turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmät suunniteltava standardin ISO 13849 mukaisesti. Vaihtoehtoisesti on myös mahdollista käyttää IEC 62061 -standardia. Edellä mainitut standardit eroavat hieman sisällöltään, mutta niillä saavutetaan tässä tapauksessa sama lopputulos. Ohjausjärjestelmä on myös mahdollista suunnitella yhtäaikaaisesti toteuttamaan molempien standardien vaatimukset. Tässä työssä päädyttiin kuitenkin tekemään ainoastaan ISO 13849 mukainen ohjausjärjestelmäsuunnittelu.

Standardi koostuu kahdesta osasta: turvallisuuteen liittyvien ohjausjärjestelmien osien suunnittelusta ja suunnitelmien kelpuutuksesta. Suunnitteluosassa esitellään periaatteet turvallisuuteen liittyvien ohjaustoimintojen määrittämiselle, tarvittavan suoritustason määrittämiselle ja saavutettavan suoritustason todennukselle. Kelpuutusosassa esitellään periaatteet, joilla varmistetaan ohjausjärjestelmän turvallisuuteen liittyvien osien yhdistelmän täyttävän kaikki standardin ensimmäisen osan asiaankuuluvat vaatimukset.

Lähtökohtaisesti ISO 13849 mukainen turvallisuuteen liittyvien ohjausjärjestelmien suunnittelun iteratiivinen prosessi liittyy suoraan ISO 12100 mukaiseen riskin pienentämisen prosessiin, mikäli riskin pienentämiseksi suunniteltu toimenpide liittyy ohjausjärjestelmään. Muussa tapauksessa ISO 12100 mukaisessa prosessissa arvioidaan ainoastaan luonnollisten suojauskeinojen vaikutusta riskiin. **Kuva 4.3** esittää ISO 13849 mukaista iteratiivista suunnittelu prosessia.



Kuva 4.3. Turvallisuuteen liittyvien ohjausjärjestelmän osien suunnittelun iteratiivinen prosessi (SFS-EN ISO 13849-1:2006, s. 38)

Standardin EN 280 mukaisessa suunnittelussa ohjausjärjestelmältä vaaditut turvatoiminnot ja niiden ominaisuudet voidaan tunnistaa standardin vaatimuksista tietyntyyppisille rakenteille. Myös vaaditut suoritustasot saadaan suoraan suunnittelustandardista, joten iteratiivisen prosessin kolme ensimmäistä vaihetta saadaan katettua käyttäen suunnittelustandardia. Näin ollen suunnittelijan tehtäväksi jää turvatoiminnon varsinainen suunnittelu ja toteuttaminen, jonka jälkeen suoritetaan turvatoiminnon suoritustason arviointi, todentaminen ja kelpuutus. Mikäli todentamis- tai kelpuutusvaiheessa asetetut vaatimukset eivät täyty palataan takaisin turvatoiminnon suunnitteluvaiheeseen. Iteratiivinen prosessi päättyy, kun kaikki turvatoiminnot on analysoitu.

4.5 Koneiden ohjausjärjestelmien toiminnallinen turvallisuus – KOTOTU

Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) on toteuttanut KOTOTU-hankkeen (koneiden ohjausjärjestelmien toiminnallinen turvallisuus), jonka tuloksia on koottu julkaisuun VTT tiedotteita 2485. Hankkeessa kehitettiin turvallisuuden toimintamalli, jonka avulla voidaan arvioida koneiden ohjausjärjestelmien riskit ja tehdä turvallisuusvaatimusten määrittely. Hankkeessa kehitettiin myös suunnittelijan työtä helpottava KOTOTU-laskentatyökalu, jolla voidaan määritellä saavutettu suoritustaso (PL = performance level) standardin ISO 13849-1 mukaan. (Hietikko et al. 2009, s. 3) Tätä laskentatyökalua ei kuitenkaan ole yleisesti saatavilla, joten tässä projektissa jouduttiin turvautumaan muihin työkaluihin.

Tässä työssä KOTOTU-raporttia käytettiin suunnitteluprosessia ohjaavana dokumenttina. KOTOTU-raportti jakaantuu kolmeen pääkokonaisuuteen: vaatimusmäärittelyyn, turvallisuusprosessin toimintamalliin ja turvallisuussuunnittelun työkaluihin. Vaatimusmäärittelyssä korostetaan erityisesti turvallisuusvaatimuksia ja vaatimusten jäljitettävyyttä suunnitteludokumenteissa. Turvallisuusvaatimusten ollessa kyseessä on kyettävä osoittamaan suunnitelmien osien toteuttavan konedirektiivin, tietyn harmonisoidun standardin tai riskianalyysin kautta asetetut vaatimukset. Lisäksi on kyettävä osoittamaan kuinka vaatimus on kelpuutettu. (Hietikko et al. 2009, s. 13).

Kuva 4.4 esittää KOTOTU-raportissa esitetyn järjestelmäkehityksen prosessimalin.

toiminnoiksi, mikäli riskianalyysi niin osoittaa. Tämä voi johtaa ylivarovaisesti toteutetun riskianalyysin kautta kohtuuttomiin tai kalliisiin vaatimuksiin koneen ohjausjärjestelmille.

KOTOTU-raportissa esitellään useita turvallisuussuunnittelun työkaluja SIL- ja PL-tasojen laskentaan. Raportissa esitetyistä työkaluista valittiin UltraLift-projektissa käytettäväksi BGIA:n SISTEMA-ohjelmistoa. Tähän valintaan vaikutti voimakkaasti SISTEMAn yleinen käyttö, jonka vuoksi ohjelmiston käytöstä oli kokemuksia projektin yhteistyökumppaneilla. Lisäksi SISTEMA on ilmainen ohjelmisto, jolloin sen käyttöönotto ei vaadi suuria investointeja eikä lisensointia.

5 HYDRAULIJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU

Siirrettävissä henkilönostimissa koneen perusohjaustoiminnot on pääosin toteutettu käyttäen hydraulisia ohjainlaitteita. Puomin ja tukijalkojen on kannettava melko suuria kuormia, jolloin niitä käyttäviin hydraulisylintereihin kohdistuu merkittäviä voimia, joita ei sähköisillä toimilaitteilla kyetä kannattelemaan tai tähän kykenevät sähköiset toimilaitteet ovat kooltaan tai hinnaltaan tähän sopimattomia. Eniten tehoa vaativa toiminto siirrettävässä henkilönostimessa on ajovoimansiirto, joka useimmiten tarvitsee yhtäaikaaisesti suuren tilavuusvirran ja korkean painetason.

Toiminnallisesti siirrettävissä henkilönostimissa on kahdesta kolmeen erilaista toiminnallisuutta: nostomekanismi, ajovoimansiirto ja tukimekanismi. Pääasiassa nämä kolme toiminnallisuutta eivät ole käytössä yhtäaikaisesti. Näin ollen järjestelmä voidaan mitoittaa toimimaan kokonaisuus kerrallaan, vaikka teknisesti joitakin toimintoja voisi-kin olla mahdollista ajaa yhtäaikaisesti.

Henkilönostinten hydraulijärjestelmien monimutkaisuus kasvaa yleensä mitä suurempi nostokorkeuksiin henkilönostin on tarkoitettu. On helppoa käsittää, että vaatimukset komponenttien toiminnassa, laadussa ja tarkkuudessa ovat täysin eri tasolla noin sata metriä korkeissa autoalustaisissa nostimissa, kuin 15-metrisissä perässä hinattavissa malleissa. Työskenneltäessä erittäin korkealla tai paljon koneen sivulla esimerkiksi venttiilin vääränlainen toiminta saattaa aiheuttaa yllättäviä toimintoja nostomekanismissa ja henkilön putoamisvaaran. Lisäksi suurten nostinten hydraulijärjestelmissä olevat virtaukset ja putkilinjojen pituudet ovat moninkertaisia verrattuna pieniin nostimiin.

Nostomekanismin ohjauksessa on perinteisesti kolme toteutustapaa: manuaalinen venttiiliohjaus, sähköinen on/off -venttiiliohjaus tai sähköinen proportionaali-ohjaus. manuaalinen venttiiliohjaus soveltuu parhaiten pienen kokoluokan puominostimiin joissa ohjattavia puomin osioita on monta. Tällä ratkaisulla saavutetaan proportionaalinen ohjaus, jokaiselle toimilaitteelle, koska venttiilin tilavuusvirran läpäisy on riippuvainen käsikäyttöisen vivun asennosta. Lisäksi tämä ratkaisu on yleensä edullisin suhteessa saavutettavaan ohjattavuuteen. On/off -ohjaus soveltuu kaikkein parhaiten saksilavoihin, sillä niissä nostomekanismin liikkeet ovat selkeästi rajoittuneet lavan pystysuoraan nostoon ja laskuun. Lisäksi työtasolla tai sen välittömässä läheisyydessä ei yleensä tarvita hydraulista tehoa, jolloin ei ole järkevää kuljettaa letkuja ylös saksimekanismia pitkin manuaalisille venttiileille. Sähköohjattuja proportionaali-venttiileitä voidaan käyttää perustellusti periaatteessa koneen koosta ja tyypistä riippumatta, sillä niillä saavutetaan lähes poikkeuksetta paras ohjaustarkkuus. Näin ollen sähköohjattuja proportionaali-venttiileitä käytetään käytännössä poikkeuksetta suuren kokoluokan henkilönostimissa ja myös pienemmässä kokoluokassa. Pienissä nostimissa proportionaalinen ohjaus tosin

on usein toteutettu käyttäen tilavuusvirran ohjauksessa vain yhtä proportionaaliventtiiliä ja valitsemalla ohjattava toimilaite on/off -venttiileillä.

Ajovoimansiirron toteutus riippuu hyvin paljon henkilönostintyyppistä ja koneen koosta. Pienissä henkilönostimissa ajovoimansiirto on toteutettu useimmiten osana avointa hydraulipiiriä, mutta raskaissa nostimissa on usein suljettu ajovoimansiirto. Valinta näiden välillä on osittain hinta- ja osittain ominaisuuskysymys. Raskaan nostimen siirtoon tarvitaan pääsääntöisesti enemmän tehoa ja vääntöä, jolloin on järkevää eriyttää järjestelmä puomin ohjauksesta, jossa järjestelmän vaatimukset ovat huomattavasti pienemmät. Kevyiden nostinten kohdalla myös koneen hintataso on useimmiten matalampi ja siirrettävä massa pienempi. Tällöin nostomekanismin ja ajovoimansiirron vaatimukset ovat lähempänä toisiaan, jolloin voi kustannus- ja tilasyistä olla järkevää toteuttaa ajojärjestelmä avoimessa piirissä venttiiliohjattuna.

Tukimekanismin toteutustavoissa on käytännössä samat vaihtoehdot kuin nostomekanismin toteutuksessa. Paras toteutustapa tässä tapauksessa vaihtelee riippuen suunnitellun tukimekanismin tarvittavista ominaisuuksista. Esimerkiksi ohjauksen automatiikka vaatii käytännössä sähköisen toteutuksen, mutta tarvittavan ohjauksen tarkkuus määrittää käytetäänkö proportionaalista ohjausta vai on/off -ohjausta. Mikäli manuaalinen ohjaus toteuttaa vaatimukset, on se usein yksinkertaisin ratkaisu.

Tässä luvussa käydään lävitse liukuohjatun tukijaloilla varustetun nivelpuominostimen hydraulijärjestelmän vaatimukset, suunnittelussa tehdyt tekniset ratkaisut ja järjestelmän toimilaitteiden mitoitus. Mitoitettavat toimilaitteet ovat koneen ajomoottorit ja nostosylinterit

5.1 Vaatimukset henkilönostimen hydraulijärjestelmälle

Siirrettävien henkilönostinten hydraulijärjestelmän tekniset, toiminnalliset ja turvallisuusvaatimukset saadaan johdettua kaikkein helpoiten käyttämällä käyttäjävaatimusten lisäksi siirrettäville henkilönostimille kohdennettuja suunnittelustandardeja. Lisäksi koneen suunnittelussa normaalisti suoritettava riskianalyysi ja konedirektiivin mukainen suunnittelu voivat asettaa vaatimuksia, joita ei ole käyttäjävaatimuksissa tai suunnittelustandardeissa. Siirrettävien henkilönostinten suunnittelustandardeja ei ole yhdenmukaistettu maailmanlaajuisesti, vaan muun muassa Euroopassa, Yhdysvalloissa ja Australiasa käytetään normina paikallisia standardeja, joten hydraulijärjestelmän tulee toteuttaa kaikkien alueiden standardien: EN 280, ANSI/SIA A92.5 ja AS/NZS 1418.10 vaatimukset. Käytännössä standardien vaatimukset ovat kuitenkin yhteneviä liittyen hydraulijärjestelmiin ja hydraulikomponentteihin. Näin ollen tässä yhteydessä hydraulijärjestelmän vaatimuksissa viitataan standardiin EN 280, mikäli muuta ei mainita.

Leguan-henkilönostinten vahvuuksia ovat perinteisesti olleet toimiva puomi, maastokelpoinen alusta ja koneen nopeus. Suunniteltaessa uutta hydraulijärjestelmää tulee näistä vahvuuksista yhä pitää kiinni ja pyrkiä vahvistamaan Leguanin jokaista osaluetta sekä tuomaan koneeseen kokonaan uusia ominaisuuksia. Puomin tärkeä ominaisuus on liikkeen yhtäaikainen ohjausmahdollisuus. Käyttäjä voi aina valita haluaman-

sa puominohjauskombinaation eikä ole rajoittunut yhden liikkeen käyttämiseen kerrallaan. Korkea ja vakaa alusta mahdollistaa koneen hyvän maastokelpoisuuden. Voimansiirron mitoituksessa on huomioitava koneen mäennousukyky ja liukuohjauksen kääntötilanteen vaatimukset. Mäennousukyvyn on oltava vähintään nykyistä Leguan 125 -nostinta vastaava ja koneen on kyettävä kääntymään myös pitävällä alustalla ongelmitta. Aiempien konemallien liukuohjaus on tyypillisesti ollut epätasaisesti toimiva, mikä siinänsä on liukuohjaukselle tyypillistä, mutta sitä pyritään myös tämän työn myötä parantamaan valitsemalla ohjaukseen sopivat komponentit ja selvittämällä erilaisten ohjausventtiilien vaikutusta ohjauksen toimivuuteen. Tukimekanismin hydraulijärjestelmän on mahdollistettava koneen automaattinen vaaitus nostotoimintoja varten.

Hydraulisylinterit on EN 280 kohdan 5.10 mukaan suunniteltava ottaen huomioon kuormaa kantavien sylinterien kuormitustilanteet, paineet ja voimat normaalikäytössä. Lisäksi on analysoitava mahdolliset vikaantumistilanteet. Valmistajan on määriteltävä käyttötilanteet, joissa aiheutuu suurin nurjahdusmahdollisuus. Tähän vaikuttavat muun muassa pidentynyt mitta, paine, taipumat sekä ulkoiset kuormat ja voimat eri yhdistelminä.

Kukin kuormaa kantava sylinteri on varustettava turvalaitteella, joka estää ulkoisen putkijohdon rikkoutumisesta aiheutuvat liikkeet, kunnes tämä laite vapautetaan ulkoisen voiman avulla. Turvalaitteiden on oltava sylinterin osana, tai ne on liitettävä suoraan ja kiinteästi laipalla sylinteriin, tai ne on sijoitettava sylinterin läheisyyteen ja yhdistettävä siihen jäykällä putkilla, joissa on hitsaus- tai laippaliitokset. Näiden osien lujuudet on laskettava samalla tavoin kuin sylinterit. Muut kiinnitystavat kuten puristus tai kaulusliittimet eivät ole sallittuja. (EN 280:2013, s. 62) Turvalaitteeksi soveltuu esimerkiksi kuormanlasku- tai lukkoventtiili, mutta ei letkurikkoventtiili.

5.2 Valitut tekniset ratkaisut ja komponenttityypit

Leguan 135 -nostinmallin suunnittelu tehtiin osin täysin uudelta pohjalta, joten suunnitteluprosessissa pidettiin lähtökohtana, että aiemmissa koneissa tehtyjä ratkaisuja ja komponenttivalintoja voidaan kyseenalaistaa ja toteuttaa eritavoin. Kuitenkin useat eri komponentit ovat käytössä myös muissa tuotteissa, jolloin on edullista pyrkiä käyttämään näitä mahdollisuuksien mukaan.

Leguan 135 on korvaava malli vanhalle Leguan 125 -nostimelle, koneikko vastaa pääosin 125-nostimessa käytettyjä komponentteja. Koneen polttomoottorina käytetään Honda iGX 390 -moottoria ja 125-nostimessa käytettävää hammaspyöräpumpppaketia. Valittu iGX-moottori on varustettu ruiskutusjärjestelmällä ja siinä on mahdollista säätää koneen kierroksia ohjausjärjestelmän automatiikan avulla. Tällä ratkaisulla saavutetaan suurempi käyttömukavuus ja parempi polttoainetalous kuin aiemmin käytetyillä GX-moottoreilla.

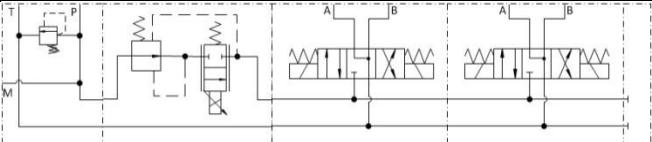
5.2.1 Puomin ja tukijalkojen ohjaus

Ohjausventtiilit päivitetään uuteen nostinmalliin. Aiemmin käytetyt manuaalisesti ohjatut venttiilit jätetään pois ja kaikki toiminnot toteutetaan sähköohjatuilla venttiileillä. Manuaalisesti ohjatussa järjestelmässä etuna on ollut, että kaikkia toimintoja on voinut ohjata proportionaalisesti sekä yhtäaikaaisesti. Sähköisesti ohjatussa järjestelmässä täysin vastaavan toiminnollisuuden toteuttaminen on kustannuksiltaan merkittävästi suurempaa kuin manuaalisesti ohjatussa järjestelmässä. Tämän vuoksi erilaisia toimintoja arvoitettiin käyttäjän näkökulmasta. Koneen nostoliikkeiden hallittavuuden kannalta on ensiarvoisen tärkeää, että käyttäjä kykenee ohjaamaan puomin liikenopeuden haluamakseen, joten liikkeiden on oltava proportionaalisesti ohjattavia, mutta toteutustapoja on useita. **Taulukko 5.1** sisältää vertailun eri toteutustapojen hyvistä ja huonoista puolia.

Valittaessa haluttua puominohjausratkaisua valintakriteereinä olivat hinta, toiminnallisuus ja turvallisuus. Turvallisen ohjauksen vuoksi toimintoja oli pystyttävä ohjaamaan proportionaalisesti, mutta toisaalta ohjausventtiilien hinta ei saisi olla liian suuri. Lisäksi vertailukohtana järjestelmälle käytettiin vanhempien mallien manuaalisesti ohjatun ratkaisun toiminnallisuutta ja hintaa sekä vastaavien henkilönostinten järjestelmäratkaisuja. Tavoitteena oli löytää ratkaisu, joka ei ole käyttäjän näkökulmasta Leguanin vanhoja malleja tai yleisesti markkinoilla käytettyjä ratkaisuja huonompi.

Taulukko 5.1. Puomin ohjausventtiilin toteutustavat

a) Proportionaaliset suuntaventtiilit	
+ Toimintaperiaate yksinkertainen, kaikkia venttiileitä voidaan ohjata samanaikaisesti – Tarvitaan suuri määrä proportionaaliventtiileitä, hinta korkeahko, venttiilien läpäisy riippuu kuormasta, ei voida käyttää turvatoimintoihin	
b) Painekompensoidut proportionaaliset suuntaventtiilit	
+ Kaikkia venttiileitä voidaan ohjata samanaikaisesti, virtaukset venttiilien läpi ovat riippumattomia toimilaitteen kuormasta – Hinta, painehäviö, ei voida käyttää turvatoimintoihin	
c) On/off -suuntaventtiilit sekä proportionaalinen virtauksen ohjaus	

<ul style="list-style-type: none"> + Edullinen, jokainen liike on mahdollista toteuttaa proportionaalisesti, on/off -venttiileitä voidaan käyttää turvakriittisissä toiminnoissa – Vain yhtä liikettä voidaan ohjata kerrallaan hallitusti, venttiilien läpäisy riippuvainen kuormasta 	
<p>d) On/off -suuntaventtiilit sekä painekompensoitu proportionaalinen virtauksen ohjaus</p>	
<ul style="list-style-type: none"> + Edullinen, jokainen ohjaus toteutettavissa proportionaalisesti, venttiilien läpäisy on riippumaton kuormasta, on/off -venttiileitä voidaan käyttää turvakriittisissä toiminnoissa – Vain yhtä liikettä voidaan ohjata kerrallaan hallitusti 	

Järjestelmä a) vastaa käytännössä manuaalisesti ohjattua venttiililohkoa, jossa liikenopeudet riippuvat kuormituksesta ja venttiilin avauksesta. Järjestelmä b) on käytännössä järjestelmän a) paranneltu versio, jossa liikenopeudet riippuvat ainoastaan venttiilin avauksesta. Järjestelmä c) toteuttaa proportionaalisen ohjauksen, mutta ei mahdollista hallittua eri liikkeiden yhtäaikaista ohjausta. Järjestelmä d) on yleisesti vastaavissa järjestelmissä käytetty ratkaisu, mutta mahdollistaa vain yhden hallitun liikkeen kerrallaan. Järjestelmissä c) ja d) kaikkien ohjauskomentojen on mahdollista olla turvakriittisiä, kun taas a) ja b) vaativat lisäventtiileitä, jotta toimintojen turvallisuus voidaan todentaa.

Esitetyistä ratkaisuvaihtoehdoista järjestelmä c) olisi ohjauksellisesti epätarkempi kuin muilla valmistajilla sekä toiminnallisesti rajoittuneempi kuin vanhat Leguanhenkilönostimet. Näin ollen järjestelmä c) ei kelvannut ohjausratkaisuksi. Järjestelmän d) taso riittäisi saavuttamaan saman toiminnallisuuden kuin mihin nostimet yleensä pystyvät, mutta ei toteuta vastaavaa toiminnallisuutta kuin vanhat Leguanit. Hinnallisesti se kuitenkin olisi edullisempi kuin järjestelmät a) ja b), jotka täyttävät täysin asetetut tavoitteet. Järjestelmän d) ratkaisulla päästään toiminnallisuudessa lähemmäs järjestelmiä a) ja b), jos jaetaan puomin toiminnot kahteen lohkoon, joilla on omat proportionaaliset osansa. Tällöin pystyttäisiin ohjaamaan yhtäaikaaisesti kahta eri liikettä.

Eri ratkaisuvaihtoehtojen vertailun jälkeen päädyttiin käyttämään järjestelmää a). Valittu järjestelmä toteuttaa esitetty vaatimukset järjestelmän toiminnalle ja käytettävyydelle. Järjestelmään b) verrattuna ratkaisu on edullisempi ja järjestelmään d) verrattuna toiminnallisuus on parempi. Lisäksi valintaan vaikutti ohjausjärjestelmän ohjainten tyyppi, jossa päädyttiin käyttämään lineaarivipuja kaksiakselisten joystickien sijaan. Joystick-ratkaisussa olisi päädytty käyttämään järjestelmää d) kahdella joystickillä, jolloin toiminnot olisi helppo jakaa loogisesti kahteen lohkoon, mikä olisi lineaarivipujen tapauksessa hankalaa.

Tukijalkojen sylinterien ohjausta tarkasteltiin käyttötilanteen mukaan. Normaalisti tukijalkoja ajetaan täydellä nopeudella alas kunnes ne koskettavat maata tämän jälkeen kallistuma korjataan nopeilla ja lyhyillä ohjausliikkeillä. Käytännössä on erittäin harvinaisen tilanne, että tukijalkojen nopeutta säädetään erikseen. Näin ollen tukijalkojen

ohjaukseen valittiin lähtökohtaisesti on/off -venttiilit. Ne täyttävät asetetut vaatimukset ohjaukselle ja ovat edullisin ratkaisu. Tarvittaessa parempaa tukijalkojen ohjaustarkkuutta, voidaan on/off -venttiililohkoon lisätä proportionaalinen osio, jolla venttiileille tulevaa virtausta voidaan kuristaa (**Taulukko 5.1 c ja d**).

5.2.2 Ajoliikkeiden ohjaus

Ajoliikkeiden on oltava hallittuja, joten ajomoottoreiden ohjaaminen proportionaalisesti on välttämätöntä. Näin ollen vaihtoehtoina ovat jälleen eri proportionaalisen ohjauksen järjestelmät (**Taulukko 5.1**). Painekompensoinnin merkitystä ajovoimansiirrossa testattiin asentamalla Leguan 160 -nostimeen painekompensoidut LUDV- ja normaalit kompensoimattomat proportionaaliset ajoventtiilit. LUDV-lyhenne tulee sanoista last-druckunabhängige durchflussverteilung ja tarkoittaa kuormanpaineesta riippumatonta virtauksen jakoa. Testiin valittiin LUDV-venttiilit normaalien painekompensoitujen proportionaaliventtiilien sijaan, koska näitä oli saatavilla valitulla komponentti toimittajalla. Testissä parempi toiminnallisuus saavutettiin LUDV-venttiileillä, mutta ero normaaliin proportionaaliseen ohjausventtiiliin ei ollut kuitenkaan merkittävä. Ajotoimintoja testattiin esteenylitystilanteessa, pitävällä ajopinnalla ja liukkaalla ajopinnalla sekä näiden yhdistelmillä. Suoraan koneella ajettaessa venttiilien välillä ei ollut havaittavaa eroa riippumatta alustan pitävyydestä. Estettä ylittäessä kuormituksen ollessa ainoastaan toisella sivulla ajotoiminnot käyttäytyivät samalla tavoin johtaen kevyemmän kuormituksen puolella olevan sivun pyörien sutimiseen. Koneita paikallaan käännettäessä ohjausventtiileiden välinen ero tuli selkeimmin näkyviin. Normaaleilla proportionaaliventtiileillä virtaus jakaantuu ajomoottoreille kuormituksen mukaan, siten että kevyemmin kuormitettu ajomoottori pyörii ja raskaammin kuormitettu pysyy paikallaan. Näin ollen pyrittäessä ajamaan eri sivujen moottoreita vastakkaisiin suuntiin vain kevyemmin kuormitettu moottori pyöri. LUDV-venttiileillä virtaus pystytään jakamaan molemmille moottoreille halutussa suhteessa kuormituksesta riippumatta, jolloin molemmat moottorit saadaan pyörimään vastakkaisiin suuntiin vaikka alustan pito-ominaisuudet olisivat erilaiset koneen eri sivuilla. Samoin kaarreajossa LUDV-venttiileillä saavutettiin aavistuksen parempi toiminnallisuus. Käyttäjän saama lisähyöty LUDV-venttiilien käytöstä ei kuitenkaan vastaa venttiilin koneeseen tuomaa lisähintaa, jonka vuoksi päädyttiin normaalien proportionaaliventtiilien käyttöön.

Aiemmissa henkilönostinmalleissa on käytetty hydraulimoottoreina M+S MT -moottoreita. Muissa Avant-konsernin koneissa on käytössä Brevini CMT -moottoreita ja Poclain MSE -moottoreita. Kaikki kolme moottorityyppiä ovat teknisesti erilaisia. M+S on geroottorimoottori, Brevini on mekaanisella vaihteella varustettu geroottorimoottori ja Poclain on mäntämoottori. Moottoreiden sallitut käyttöpaineet vaihtelevat välillä 20 ja 40 MPa Poclainin paineen kesto on suurin ja Brevinin pienin. Ulkomitoiltaan Poclain ja M+S ovat melko lähellä toisiaan, mutta Brevini on selvästi näitä kahta lyhyempi. **Taulukko 5.2** listaa vertailuun valittujen moottorien tekniset tiedot. Vertailuun valitut moottorikoot on valittu käyttökokemusten ja mitoituslaskelmien perusteella.

Taulukko 5.2. Ajomoottoreiden tekniset ominaisuudet

Hydraulimoottori	M+S MT 400	Brevini CMT 1016	Poclain MSE-02
Kierrostilavuus [cm ³]	410,9	130***	364
Max. pyörimisnopeus [r/min]	304/368*	47/59*	225
Max. paine [MPa]	21/25/30**	17,5/20*	40
Max. paine-ero [MPa]	18/21/24	11/12,5/-	N/A
*Jatkuva/hetkittäinen **Jatkuva/hetkittäinen/piikki ***Kytkeytyy alennusvaihteeseen, välityssuhde i=1:6,09			

M+S ja Poclain -moottoreiden välillä tehtiin vetovoimavertailu asentamalla nykyiseen pyöräalustaiseen Leguan 125 -nostimeen Poclain-moottorit ja koneen vetovoimaa mitattiin. Vertailukohtana käytettiin sarjavalmistesta Leguan 125 -nostinta, joka oli varustettu M+S-moottoreilla. Molempien koneiden ajovoimansiirron painetasot oli säädetty samaksi. Koneiden toiminnasta tehtiin vertailu taulukko (**Taulukko 5.3**). Lähtökohtaisesti M+S-moottoreiden teoreettinen vääntömomentti on suurempi kuin Poclain-moottoreilla, koska niiden kierrostilavuus on noin 14 % suurempi. Vetovoimamittauksissa Poclain-moottoreilla päästiin kuitenkin M+S-moottoreita vastaavaan vetovoimaan koneen ollessa paikallaan.

Taulukko 5.3. Leguan 125 -ajomoottorivertailu

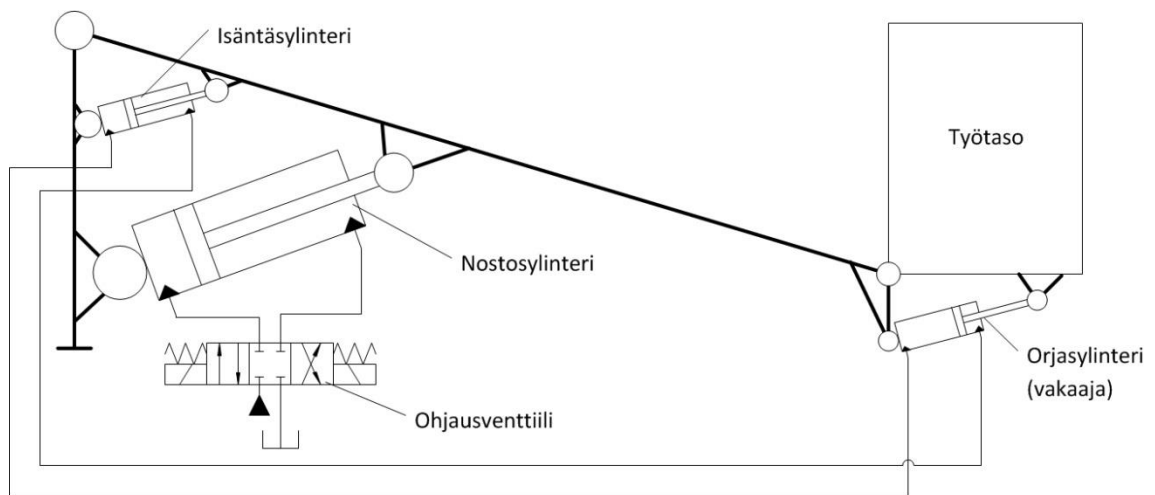
Ajomoottorit	M+S MT400	Poclain MSE-02
Vetovoima: Mitattu paikallaan	10,5 kN	10,4 kN
Kääntötesti: paikallaan kuivalla asfaltilla käyttäen ainoastaan toisen sivun ajomoottoreita	<ul style="list-style-type: none"> - Suoriutuu välttävästi kääntäessä käyttäen vain toisen sivun ajomoottoreita - Kääntö on nykivää ja välillä kone ei jaksaa kääntyä kunnolla. 	<ul style="list-style-type: none"> - Suoriutuu hyvin - Kone kääntyy asiallisesti eikä osoita uupumista - Kääntyminen kuitenkin hieman nykivää, mikä on tyyppillistä liukuohjaukselle.
Kääntötesti: loivasti kuivalla asfaltilla	<ul style="list-style-type: none"> - Kääntyy hallitusti - Ei merkittävää nykimistä 	<ul style="list-style-type: none"> - Kääntyy hallitusti - Ei merkittävää nykimistä
Ajonopeus: Normaali ajonopeus ja pikavaihde	<ul style="list-style-type: none"> - Normaalin sarjavalmisteen nostimen siirtonopeus 	<ul style="list-style-type: none"> - Havaittavasti sarjakonetta nopeampi
Mäennousukyky: Ramppi	<ul style="list-style-type: none"> - Sarjakoneen mäennousukyky 	<ul style="list-style-type: none"> - Vastaa sarjakonetta mäennousukyvyltään

Koneilla tehtiin usean kuljettajan voimin myös kääntötestejä, joissa Poclain-moottoreilla varustettu kone suoriutui systemaattisesti M+S-konetta paremmin. Molempia koneita testattiin myös mäennousutilanteessa, jossa havaittavia eroja moottoreiden välillä ei löydetty. Nopeustestissä oletettavasti Poclainin tulisi pienempänä moottorina pärjätä M+S-moottoreita paremmin ja tällaiseen tulokseen myös päädyttiin kokeiden perusteella. Uuden nostinmallin pyöreealustassa päädyttiin käyttämään Poclain MSE-02 -moottoreita.

Brevinin CTM 1016 -moottori on hintatasoltaan pyöreeversioon liian kallis komponentti, joten sen ominaisuuksia ei pyöreeversiossa testattu vaan se otettiin mukaan vaihtoehtoksi tela-alustaiseen koneeseen ja sitä verrattiin M+S MT 500 -moottoreihin, joka on käytössä Leguan 125 -nostimen telaversiossa. Laskennallisesti 130 cm³ vaihdemoottorilla saavutetaan vastaavat voimansiirto ominaisuudet kuin 500 cm³ suoravetoisella moottorilla, kun huomioidaan moottoreiden maksimipainerajoitukset. Rakenteellisten etujen vuoksi päädyttiin suunniteltavan koneen tela-alustassa käyttämään Brevini CTM 1016 -vaihdemoottoreita.

5.2.3 Puomin nosto

Puomin nostotoiminnot toteutetaan kaikilta osin kaksitoimisilla hydraulisylintereillä. Hydraulisylinterien asennus suunnitellaan siten, että kaikkiin hydraulisylintereihin kohdistuu ainoastaan puristavaa kuormaa kaikissa normaaleissa käyttötilanteissa. Kuormaa kantavat sylinterit varustetaan standardin EN 280 vaatimusten mukaisilla turvalaitteilla. Koneessa käytetään teleskooppipuomia, joten työtason pitämiseksi liikkeen aikana vaakatasossa käytetään isäntä-orja-järjestelmää (**Kuva 5.1**), jossa orjasylinteri seuraa nostimen taittopuomiin kytketyn isäntäsylinterin liikkeitä puomin liikkuesssa.



Kuva 5.1. Isäntä-orja-järjestelmän toimintaperiaate

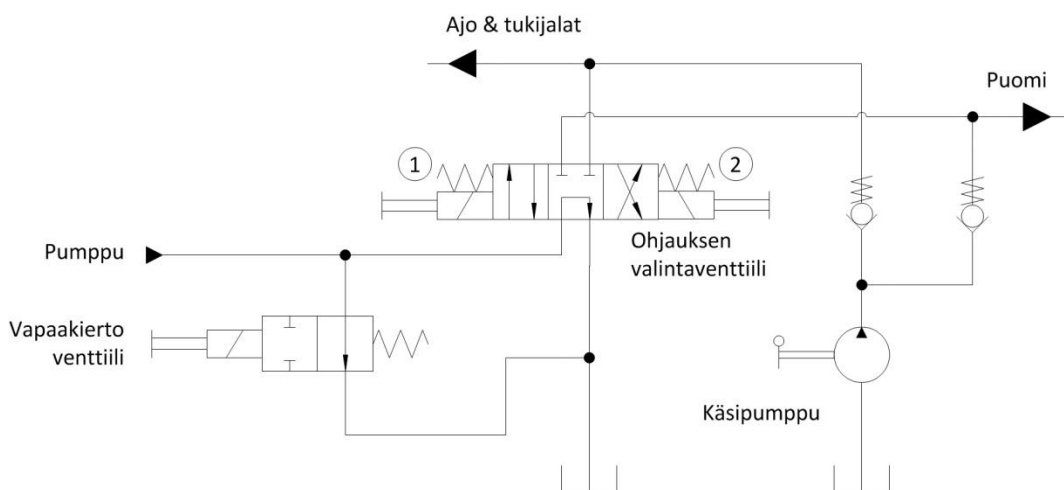
Puomin nostotoimintoihin käytetään sylintereitä ja kääntötoimintoihin hydraulimoottoreita tai karamoottoreita. Puomin kääntö toteutetaan kääntökehällä, jota pyöritetään hydraulimoottorilla kierukkavaihteen välityksellä. Työkorin kääntöön käytetään kara-

moottoria. Kuormaa kantavat sylinterit varustetaan kuormanlaskuventtiileillä tai lukkoventtiileillä tapauksesta riippuen.

5.3 Hydraulijärjestelmän turvallisuusratkaisut

Suunnitteluprosessissa turvakriittisten toimintojen määrää pyrittiin minimoimaan, jotta järjestelmästä saadaan mahdollisimman yksinkertainen ja sen hyväksyntäprosessista helpommin läpivietävä. Muutosten tekeminen järjestelmään on myös helpompaa jatkossa, mikäli ne voidaan rajata turvajärjestelmien ulkopuolelle. Hydraulijärjestelmän turvallisuudesta huolehditaan ohjauksen valintaventtiilillä (4/3-suuntaventtiili), jolla tilanteen mukaan sallitaan tai estetään järjestelmän eri kokonaisuuksien toiminta. Järjestelmällä on kolme perustilaa, jotka valintaventtiilillä kytketään toimintaan. Keskiasennossa venttiili pitää järjestelmän vapaakierrolla, Kytkenäasennossa 1 tehonsyöttö on kytketty puominohjaukseen ja kytkenäasennossa 2 tukijaloille ja ajovoimansiirrolle.

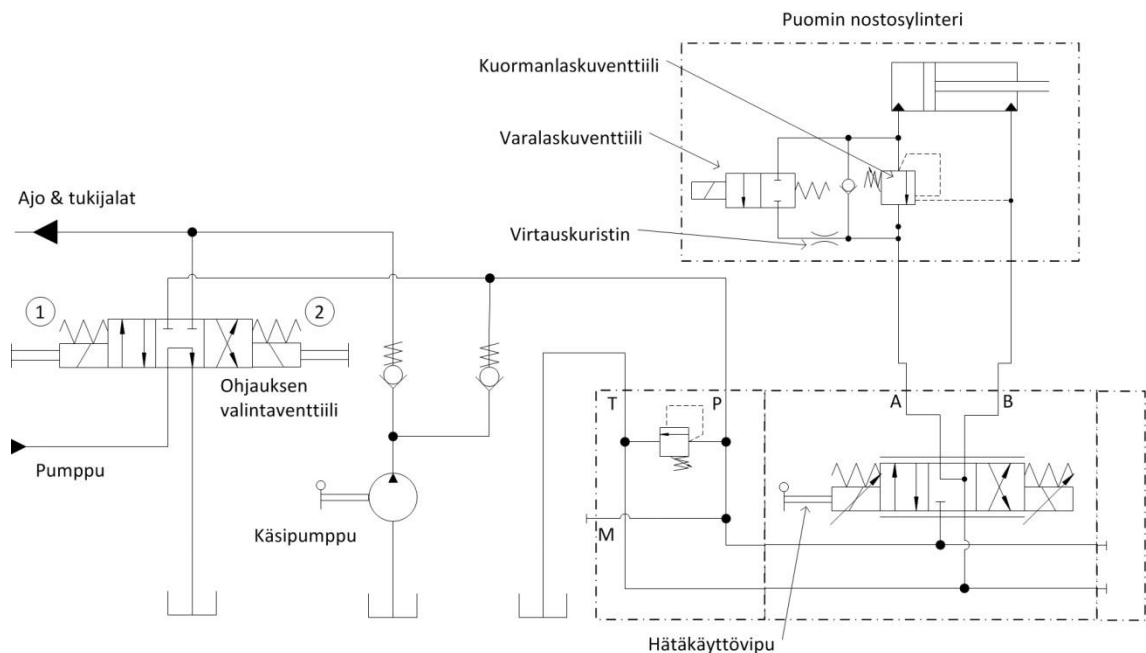
Valintaventtiilin lisäksi järjestelmässä on myös erillinen vapaakiertoventtiili, joka toimii turvaventtiilinä ja lisää järjestelmän redundanssia. Näin ollen yhden turvaventtiilin vikaantuminen ei johda suoraan järjestelmän vaaralliseen vikaantumiseen. **Kuva 5.2** havainnollistaa hydraulisen turvapiirin kytkentää.



Kuva 5.2. Henkilönostimen turvapiiri

Turvapiirien venttiilit on mahdollista kytkeä manuaalisesti, jolloin ohjausjärjestelmän vioituessa hydraulijärjestelmään on mahdollista syöttää tehoa ja nostin voidaan ohjata turvalliseen tilaan, kuljetusasentoon tai muuhun vaadittuun huoltotilaan, kunhan poltto- tai sähkömoottori saadaan käyntiin. Mikäli koneellista tehonsyöttöä ei ole mahdollista kytkeä päälle, on järjestelmää mahdollista käyttää käsipumpun avulla. Käsipumppu on kytketty järjestelmään rinnakkain valintaventtiilin kanssa ja sillä on mahdollista syöttää tilavuusvirtaa ajolle, tukijaloille ja puomille. Käsipumpun ja koneellisen tehonsyötön yhtäaikaista käyttöä ei saa vaarantaa henkilönostimen turvallisuutta. Tämän vuoksi käsipumppu syöttää tehoa järjestelmään ainoastaan, kun valintaventtiili on keskiasennossaan, muussa tapauksessa virtaus ohjautuu valintaventtiilin kautta tankkiin ja vain koneellinen tehonsyöttö ohjausventtiililohkoille on mahdollista.

Tilanteessa, jossa ohjausjärjestelmää ei pystytä normaaliin tapaan käyttämään työ-
son ohjaustoimintoihin on järjestelmään lisätty varalaskutoimintoja. **Kuva 5.3** esittää
varalaskujärjestelmien hydraulista kytkentää.



Kuva 5.3. Varalaskujärjestelmien rakenne

Puomin nostosylinterit on varustettu sähköohjatuilla 2/2-varalaskuventtiileillä, joilla on mahdollista ohittaa sylinterien kuormanlaskuventtiilit. Virtauskuristimella rajoitetaan sylinterin liikenopeutta laskutilanteessa. Varalaskuventtiileitä voidaan käyttää koneen alaohjauspaneelista ja työtasolle sijoitetuista varalaskupainikkeista. Sähköohjattu varalasku mahdollistaa näin ollen myös yksinäisen koneenkäyttäjän painovoimaisen laskeutumisen hätätilanteessa, joka voi olla niinkin arkinen tapahtuma kuin polttoaineen loppuminen tai sähkönsyötön katkeaminen. Mikäli nostimen työtasen alapuolella on este eikä painovoimaista varalaskua ole mahdollista käyttää voidaan työtasen lasku suorittaa käsipumpun ja ohjausventtiileiden hätäkäyttövipujen avulla siirtäen työtas nostoliikkeitä käyttäen asentoon, josta se voidaan esteettä laskea. Tällöin on ohjauksen valintaventtiilin oltava keskiasennossa.

5.4 Hydraulijärjestelmän mitoitus

Järjestelmän mitoitus poikkeaa hieman perinteisestä mitoistavasta, jossa järjestelmän koneikko mitoitetaan vastaamaan muun järjestelmän vaatimuksia. Tässä tapauksessa tarkoituksena on käyttää samaa koneikkoa kuin muissakin konemalleissa, joten järjestelmän suunnittelussa tämä asettaa joitakin raja-arvoja ja ehtoja suunnittelulle. Peruskoneikko on polttomootorikäyttöinen ja optiona sen rinnalle on saatavissa sähkömootorikäyttöinen koneikko. **Taulukko 5.4** sisältää esivalittujen komponenttien tekniset tiedot, koneen massan sekä maksimikuorman.

Taulukko 5.4. *Esivalittujen komponenttien perustiedot ja muut lähtötiedot*

Tarkasteltava suure	Lukuarvo
Polttomoottorin teho	8,7 kW
Polttomoottorin vääntömomentti	26,4 Nm
Polttomoottorikäyttöisten pumppujen kierrostilavuus	6,3 + 4,0 cm ³ /r
Pumpun sallittumaksimipaine (polttomoottorikäyttö)	30 MPa
Polttomoottorin maksimipyörimisnopeus	3600 r/min
Sähkömoottorin teho	2,2 kW
Sähkömoottorikäyttöisten pumppujen kierrostilavuus	2,0 cm ³ /r
Pumpun sallittumaksimipaine (sähkökäyttö)	21 MPa
Sähkömoottorin maksimipyörimisnopeus	2900 r/min
Koneen massa	1600 kg
Koneen korikuorma (suurin sallittu kuorma työtasolla)	230 kg

Mitoitettu järjestelmä koostuu ajovoimansiirrosta, tukijalkojen ohjauksesta ja puominohjauksesta. **Liite 1** sisältää hydraulijärjestelmäkaavion, josta on poistettu komponenttikohtaista tietoa. Järjestelmä on suunniteltu siten, että järjestelmän ottamaa maksimitehoa käytetään ainoastaan ajovoimansiirrolla, jolloin molemmat polttomoottorikäyttöiset pumput on mahdollista kytkeä syöttämään tilavuusvirtaa ajomoottoreille. Järjestelmän ottama maksimiteho säädetään tällöin sopivaksi asettamalla lisäpumpun paineraja sopivaan säätöarvoon. Säätöarvo riippuu ajovoimansiirrolle säädetystä maksimipaineesta. Ohjattaessa tukijalkojen tai puomin liikkeitä ainoastaan yksi pumppu syöttää tilavuusvirtaa järjestelmään. Hydraulikomponenttien mitoituslaskelmat perustuvat yleisiin laskentakaavoihin ja mitoitusmenetelmiin, joita on esitetty esimerkiksi alan oppikirjoissa (Kauranne et al. 2008; Fonselius et al. 2006).

5.4.1 Ajovoimansiirron mitoitus

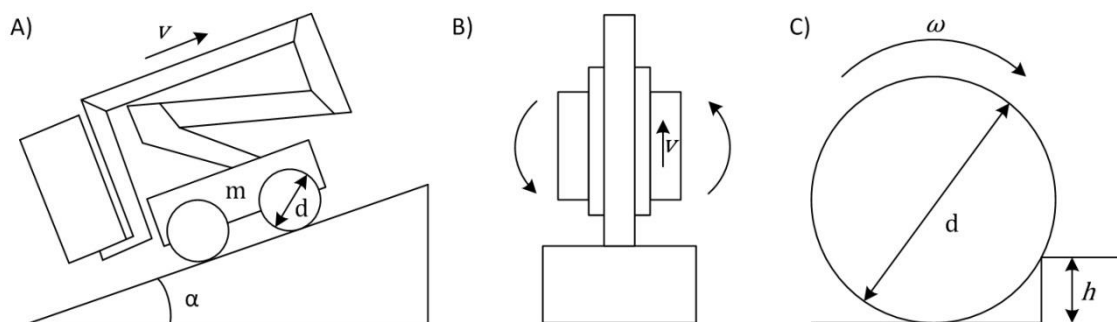
Lähtökohtaisesti ajovoimansiirrossa oli valittavissa kolme eri moottorityyppiä ja käytävissä oleva maksimipainetaso on 30 MPa. Pumpun suojaamiseksi yli 30 MPa painepiikeiltä rajoitettiin mitoituksessa ajomoottoreiden maksimipaineeksi 27,5 MPa. Vaihteellisten telamoottorien maksimipainetaso on usein 20 MPa, joten tämä otetaan huomioon vaihtoehtoisessa laskelmassa. Taulukossa (**Taulukko 5.5**) on ajovoimansiirron mitoituksen lähtöarvot.

Taulukko 5.5. Ajovoimansiirron mitoituksen lähtöarvot

Tarkasteltava suure	Lukuarvo
Maksimipainetaso	27,5 MPa (20 MPa*)
Maksimimäennousukyky	35 %
Esteenylityskyky (suorakulmaisen esteen korkeus)	7 cm
Vetopyörän empiirinen kitkakerroin kääntötilanteessa	0,4
Kumitelan empiirinen kitkakerroin kääntötilanteessa	0,6
Alustan raideleveys	800 mm
Alustan akseliväli	900 mm
*Rajoitettu painetaso ajovoimansiirrolle käytettäessä moottoreita, joiden paineenkesto on ilmoitettua alhaisempi	

Kääntötilanteen kitkakertoimet on määritetty empiirisesti testaamalla valmiiden koneiden kääntötilanteessa tarvitsemaa vetovoimaa käännettäessä konetta paikallaan kuivalla asfaltilla. Sopivat arvot arvioitiin käyttäen tässä luvussa johdettavia yhtälöitä ja valmiiden koneiden painetasoja ja alustan mittoja. Kitkakertoimen määrittäminen ei siis perustu pelkkään kumin ja asfaltin väliseen kosketustilanteeseen ja niitä voidaan pitää pätevänä vain käytettäessä tässä luvussa johdettavia kaavoja.

Ajovoimansiirto mitoitetaan normaalisti käytetyn mäennousukyvyn lisäksi esteenylityskyvyn ja liukuohjauksen vaatimusten mukaisesti. **Kuva 5.4** esittää ajovoimansiirron mitoituksen kuormitustilanteet. Tärkein mitoitusperuste ajovoimansiirrolle on mäennousukyky ja kääntötilanteen ja esteenylityksen mitoitus käytetään tämän tukena. Mäennousukyky on myös yksinkertainen mitoitus tilanne ajovoimansiirrolle.

**Kuva 5.4.** Ajovoimansiirron kuormitustilanteet: A) mäennousu B) kääntö C) este

Mäennousutilanteessa koneen kaikki pyörät vetävät ja koneen kuorma jakaantuu enemmän taka-akselille. Kääntötilanteessa oletetaan tilanne, jossa käytössä on kumitela ja konetta käännetään kuivalla asfaltilla. Lisäksi oletetaan, että ainoastaan toisen puolen vetomoottorit ovat käytössä. Esteen ylityksessä oletetaan kohtisuora kulma ja että molempien puolen ajomoottorit ovat käytössä.

Mäennousutilanteessa tärkein mitoituskriteeri on kulma, jossa kone yhä pystyy kiihdyttämään nopeuttaan ja näin ollen saamaan aikaan koneen liikkeen ylämäkeen.

Toissijainen kriteeri on koneen maksiminopeus ylämäessä. Nopeuden kasvaessa hydraulisen ajovoimansiirron häviöt kasvavat, jolloin saavutettava mäennousukyky heikkenee kääntäen verrannollisena koneen nopeuteen. Lisäksi mäennousukykyyn vaikuttaa alusta, jolla kone liikkuu. Mikäli koneen renkaiden tai telojen ja alustapinnan välinen kitka on pienempi kuin vaadittava vetovoima mäennousussa on tämä mäennousukykyä rajoittava tekijä. Pyöräalustaisessa koneessa nousukulma vaikuttaa kuormituksen jakautumiseen etu- ja taka-akselin välillä, jolloin myös vetovoima etu- ja taka-akselin välillä eroavat toisistaan. Tela-alustaisella koneella painopisteen siirtymisellä taka-akselille ei ole samanlaista vaikutusta kuormitustilanteeseen, koska vetäviä moottoreita on vain yksi puolellaan. Vetovoiman jakautumisella akselien välillä ei kuitenkaan suunniteltavan järjestelmän tapauksessa ole merkitystä, koska eri akselien moottorit on pyöräalustassa kytketty sarjaan ja voidaan olettaa että nousutilanteessa pitävällä alustalla ei tapahdu renkaiden luistamista. Tällöin tilanne voidaan laskennassa redusoida yhdelle moottorille, kunhan useamman moottorin käyttö huomioidaan laskennassa hyötysuhteilla.

Vaadittava kokonaisvetovoima saadaan suoraan vaaditusta mäennousukulmasta α (siirtopinnan ja vaakatason välinen kulma (**Kuva 5.4 A**)) ja koneen massasta m kaavan

$$F_{grad} = mg \sin(\alpha) \quad (1)$$

mukaisesti. Kaava pätee koneen kokonaisvetovoimalle kaikissa tilanteissa, mutta laskennassa on erikseen huomioitava kuorman jakautuminen epäsymmetrisesti ja hydraulimoottoreiden välisten kytkentöjen vaikutus.

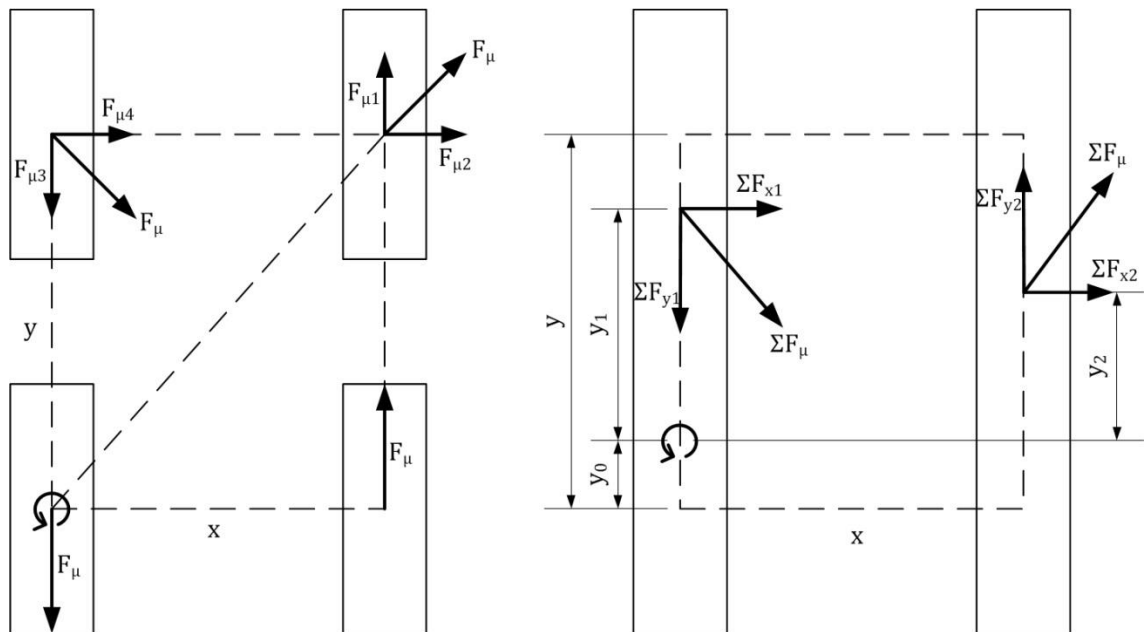
Kääntötilanteessa mitoituksen lähtökohtana on, että konetta on kyettävä kääntämään käyttäen vain toisen puolen ajomoottoreita. Tällöin käytössä on maksimissaan puolet koko koneen vetovoimasta. Kääntötilannetta tarkastellaan staattisena tilanteena, jossa kone on juuri lähdössä liikkeelle kuivalla asfaltilla. Näin ollen mitoitus tilanteessa voidaan olettaa systeemissä olevien kitkavoimien olevan staattisia ja täysin kehittyneitä. Koneen painopisteen oletetaan olevan likimain keskellä koneen tukipisteitä, jolloin kuormitus on jakaantunut tasan jokaiselle tukipisteelle. Koneen kääntöpiste on todellisuudessa satunnainen tukipiste, jonka ympäri kääntymiseen tarvittava momentti on kaikkein pienin. Nyt oletetaan kitkan olevan kaikissa tukipisteissä yhtä suurta, jolloin kääntöakselina käytettävän tukipisteen valinnalla ei ole merkitystä.

Pyöräalustaisessa koneessa renkaiden tukipisteiden oletetaan aina olevan renkaan keskellä ja kosketuksen alustaan olevan pistemäinen. Tällöin voidaan kääntöakselina toimivan renkaan tukipisteen ympäri muodostuvan momenttitasapainon olevan riippuvainen ainoastaan muiden renkaiden kitkasta eikä renkaan painumalla ole vaikutusta laskentaan.

Tela-alustaisen koneen kääntökitkatilanne on huomattavasti monimutkaisempi kuin pyöräalustaisella koneella. Kun pyöräalustaisella koneella kääntöakseli voi olla ainoastaan jonkin renkaan ympäri, voi tela-alustan kääntöakseli olla teoriassa missä tahansa pisteessä telan ja maan välisessä kosketuspinnassa. Laskennan yksinkertaistamiseksi

tehdään oletus, että kääntöakselin paikka vaihtelee ainoastaan telan pituussuunnassa ja on aina keskellä telaa leveyssuunnassa. Tämä oletus voidaan tehdä, koska tela on kapea suhteessa sen pituuteen, jolloin yksinkertaistuksen vaikutusta tuloksiin voidaan pitää vähäisenä. Telan ja maanpinnan välisen kitkan kehittyminen riippuu telan kantaman kuormituksen aiheuttaman telan ja maan välisen pintapaineen jakautumisesta telan pituudelle. Näin ollen riippuen tilanteesta saataisiin hyvin erilaisia tuloksia ja jotta voitaisiin valita oikea kitkavoimakuvio, tulisi kuormituksen jakautuminen tuntea mahdollisimman tarkasti. Tilanteen teoreettista tutkimista voidaan helpottaa esittämällä telaan kohdistuvat kitkavoimat kaikkien voimien resultanteina. Tällöin telan pintapaineen jakautumisen vaikutusta ei tarvitse huomioida, mutta kitkaresultantin paikkaa telan pituussuunnassa ei voida tietää.

Edellä esitettyjen oletusten kautta voidaan muodostaa pyörä- ja tela-alustalle kitkavoimakuviot (**Kuva 5.5**). Pyöräalustan tapauksessa tarkoituksena on ratkaista kääntöakselina toimivalle renkaalle ristikkäin olevan renkaan vaadittu pituussuuntainen kitkavoima $F_{\mu 1}$. Tela-alustaisessa tapauksessa ratkaistava suure on koneen vetävän telan pituussuuntainen kitkavoimaresultantti ΣF_{y2} .



Kuva 5.5. Kääntötilanteen voimakuviot pyörä- ja tela-alustalle

Pyöräalustan kääntökitkavoimat

Ratkaistaan ensin pyöräalustaisen koneen kääntökitkavoimat. Koska oletettiin, että kuormitus on jakautunut tasan kaikille tukipisteille, saadaan yhden tukipisteen kokonaiskitkavoima yhtälöstä

$$F_{\mu} = \frac{\mu mg}{4}, \quad (2)$$

jossa μ on pintojen välinen kitkakerroin, m on koneen kokonaismassa ja g gravitaatiovakio. Kirjoitetaan koneen pituussuuntainen voimayhtälö ja momenttiyhtälö vasemman takarenkään ympäri. Voimayhtälöksi saadaan

$$F_\mu - F_\mu + F_{\mu 1} - F_{\mu 3} = 0 \quad (3)$$

ja momenttiyhtälöksi

$$F_\mu x + F_{\mu 1} x - F_{\mu 2} y - F_{\mu 4} y = 0. \quad (4)$$

Nyt voimayhtälöstä (3) voidaan ratkaista $F_{\mu 3}$.

$$F_{\mu 3} = F_{\mu 1} \quad (5)$$

Tämän lisäksi x-akselin suuntaiset komponentit $F_{\mu 2}$ ja $F_{\mu 4}$ voidaan lausua Pythagoraan lauseen ja kaavan (5) kautta $F_{\mu 1}$ funktiona

$$F_{\mu 2} = \sqrt{F_\mu^2 - F_{\mu 1}^2} \quad (6)$$

ja

$$F_{\mu 4} = \sqrt{F_\mu^2 - F_{\mu 1}^2}. \quad (7)$$

Sijoittamalla momenttiyhtälöön (4) kaavat (6) ja (7) saadaan momenttiyhtälö muotoon

$$F_\mu x + F_{\mu 1} x - 2\sqrt{F_\mu^2 - F_{\mu 1}^2} y = 0. \quad (8)$$

Oikean eturenkaan vetokitkalle voidaan ratkaista kaava

$$F_{\mu 1} = -\frac{x^2 - 4y^2}{x^2 + 4y^2} F_\mu, \text{ tai } (F_{\mu 1} = -F_\mu), \quad (9)$$

joista jälkimmäinen ei ole mahdollinen johtuen käytettävien hydraulimoottoreiden kytkennästä. Tällöin yhdelle napamoottorille redusoituna kehitettävä vetovoima on

$$F_{turnW} = \left(1 - \frac{x^2 - 4y^2}{x^2 + 4y^2}\right) F_\mu. \quad (10)$$

Tämä voima on kyettävä tuottamaan kahdella sarjaankytketyllä hydraulimoottorilla, jotta kone kääntyisi käytettävällä alustalla.

Tela-alustan kääntökitkavoimat

Tela-alustaisen ajovoimansiirron tilanteelle tehdään vastaavat tarkastelut kuin edellä tehtiin pyöralustalle ja pyritään hakemaan funktio ajovoimansiirrosta vaadittavalle maksimivetovoimalle. Tela-alustan tapauksessa oletetaan täysin kehittynyt kitka, jolloin yhdelle telalle muodostuva kitkavoimaresultantti on

$$\Sigma F_\mu = \frac{\mu mg}{2} \quad (11)$$

Kuten pyöriäalustaisessa tilanteessa, voidaan tela-alustalle muodostaa pitkittäissuuntainen voimayhtälö (**Kuva 5.5**)

$$\sum F_{y1} - \sum F_{y2} = 0 \quad (12)$$

ja momenttiyhtälö

$$\sum F_{y2}x - \sum F_{x1}y_1 - \sum F_{x2}y_2 = 0. \quad (13)$$

Voimayhtälöstä saadaan muodostettua yhtäsuuruus

$$\sum F_{y1} = \sum F_{y2}. \quad (14)$$

Nyt Pythagoraan lauseen ja kaavan (14) avulla voidaan esittää resultanttivoimat

$$\sum F_{x2} = \sqrt{\sum F_{\mu}^2 - \sum F_{y2}^2} \quad (15)$$

ja

$$\sum F_{x1} = \sqrt{\sum F_{\mu}^2 - \sum F_{y1}^2} = \sqrt{\sum F_{\mu}^2 - \sum F_{y2}^2} \quad (16)$$

Näin ollen kaavoista (15) ja (16) saadaan yhtäläisyys sivuttaisvoimille

$$\sum F_{x1} = \sum F_{x2} \quad (17)$$

Nyt momenttiyhtälö (13) voidaan kirjoittaa muotoon

$$\sum F_{y2}x - \sqrt{\sum F_{\mu}^2 - \sum F_{y2}^2}(y_1 + y_2) = 0 \quad (18)$$

ja tästä voidaan ratkaista funktio muuttujalle $\sum F_{y2}$

$$\sum F_{y2} = \sum F_{\mu} \frac{(y_1 + y_2)}{\sqrt{x^2 + (y_1 + y_2)^2}} \quad (19)$$

josta saadaan tarvittava vetovoima koneen kääntämiselle missä tahansa kitkatilanteessa, kun tiedetään y_1 ja y_2 . Yleisessä tilanteessa näitä ei kuitenkaan tiedetä, mutta tiedetään, että näiden summalle on olemassa raja-arvot 0 ja $2y$, jolloin saadaan ehto

$$y_1 + y_2 \in [0, 2y]. \quad (20)$$

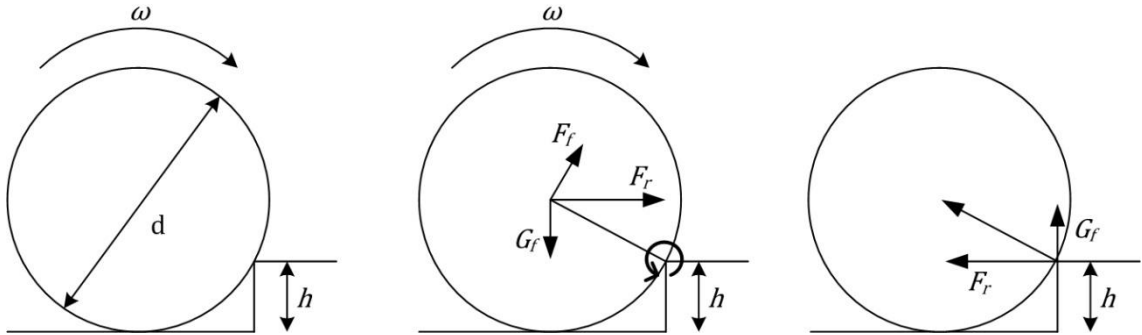
Keskimäärin tarvittava vetovoima voidaan määrittää integroimalla funktion $\sum F_{y2}(y_1 + y_2)$ koko alueen ylitse.

$$F_{avgT} = \frac{\int_0^{2y} \sum F_{y2} d(y_1 + y_2)}{2y} = \frac{\int_0^{2y} \sum F_{\mu} \frac{(y_1 + y_2)}{\sqrt{x^2 + (y_1 + y_2)^2}} d(y_1 + y_2)}{2y} \quad (21)$$

Funktiolle (21) on olemassa analyyttinen ratkaisu, mutta sen monimutkaisuuden takia on yksinkertaisempaa ratkaista funktio numeerisesti tai jollakin laskentaohjelmistolla kuten Mathcad tai Matlab.

Esteen ylitys

Esteenylityskyky määritetään tapauksesta (**Kuva 5.6**), jossa pyritään nousemaan koneella kohtisuoraan suorakulmaisen esteen ylitse.



Kuva 5.6. Esteenylitystilanteen kuormitustapaus

Tilanteessa on käytettävissä koneen täysi vetovoima ja oletetaan, että pyörän tai telan liukumista suhteessa alustaan ei esiinny tai että sillä ei ole vaikutusta. Esteen ylittämiseen tarvittava momentti saadaan eturenkaiden ja esteen kulman kosketuspisteen ympäri muodostetusta momenttiyhtälöstä. Eturenkailla lepäävä kuorma, joka on puolet koneen painosta, muodostaa alaspäin voiman G_f ja sen momenttivarsi voidaan ratkaista Pythagoraan lauseella kuvan geometriasta. Näin ollen kuorman momenttiyhtälöksi saadaan

$$M_e = G_f \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 - \left(\frac{d}{2} - h\right)^2} = G_f \sqrt{dh - h^2}, \quad (22)$$

jossa

$$G_f = \frac{mg}{2}. \quad (23)$$

Toisaalta esteen ylittämiseen tarvittava momentti vastaa suoraan koneen sarjaankytkettyjen moottoreiden yhteismomenttia, joka saadaan pyöriltä vaadituista vetovoimista. Näin ollen voidaan kirjoittaa kuorman momentti muodossa

$$M_e = F_f \left(\frac{d}{2}\right) + F_r \left(\frac{d}{2} - h\right). \quad (24)$$

Esteen ylittämiseen tarvittava voima on etu- ja taka-akseleilta saatava vetovoimien summa. Koska ajomoottorit on kytketty sarjaan, voidaan redusoida vetovoima yhdelle vetomoottorille kirjoittamalla

$$F_e = F_f + F_r. \quad (25)$$

ja olettamalla kitkavoimien olevan yhtä suuret etu ja taka-akselilla, jolloin

$$F_f = F_r. \quad (26)$$

Yhdistämällä yhtälöt (22), (23), (24), (25) ja (26) saadaan yhdelle pyörälle redusoitu vetovoima

$$F_e = \frac{mg}{(d - h)} \sqrt{dh - h^2} \quad (27)$$

Riippumatta siitä suoritetaanko tarkastelu tela vai pyörä-alustalle päädytään kaavanjohdossa samaan tulokseen vaadittavalle vetovoimalle. Hydraulimoottorien mitoituksessa on kuitenkin hyvä huomioida häviöiden kasvu, kun moottoreita on useampia sarjassa.

Käyttämällä kaavoja (1), (10), (21) ja (27) voidaan laskea kaikista kuormitustilanteista syntyvät kuormitukset. **Taulukko 5.6** esittää eri kuormitustilanteissa lasketut koneelta vaaditut vetovoimat sekä suurimman kuormitustilanteen arvolla lasketut vetomoottoreiden koot pyörä- ja tela-alustalle.

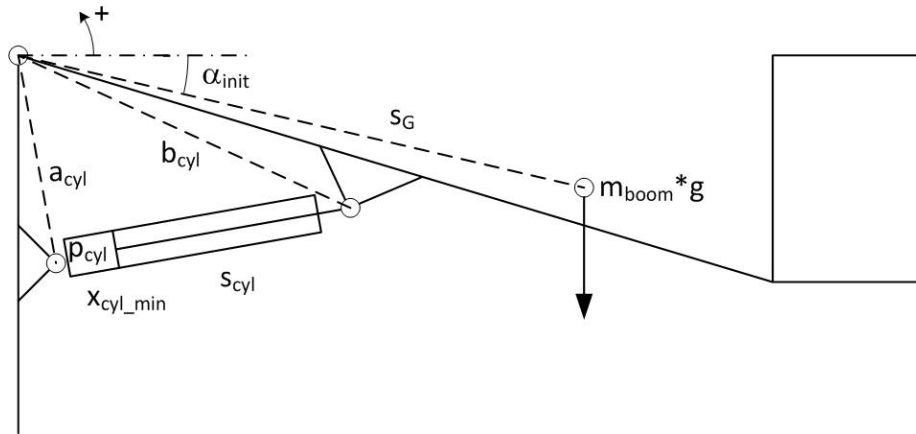
Taulukko 5.6. Ajovoimansiirron kuormitusarvot ja sopivat moottorikoot

	Pyöräalusta	Tela-alusta
Vetovoima mäennousussa	2,72 kN	2,72 kN
Vetovoima kääntötilanteessa	2,75 kN	3,21 kN
Vetovoima esteen ylitystilanteessa	2,94 kN	2,94 kN
Ajomoottori @ 27,5 MPa	424 cm ³	441 cm ³
Ajomoottori @ 20 MPa	583 cm ³	606 cm ³
Ajomoottori (i=6,09) @ 27,5 MPa	70 cm ³	73 cm ³
Ajomoottori (i=6,09) @ 20 MPa	96 cm ³	100 cm ³

Tuloksissa huomattavaa on, että mäennousun ja esteen ylitystilanteissa esitetyt vetovoimat ovat vain toisen puolen vetomoottoreilta pyörän tai telan kautta maahan välittyviä voimia. Laskettu vetovoima tarvitaan myös vastapuolen vetomoottoreilta. Tulokset on esitetty näin, jotta ne olisivat suoraan vertailukelpoisia kääntötilanteessa tarvittavaan vetovoimaan.

5.4.2 Puomin nostosylinterien mitoitus

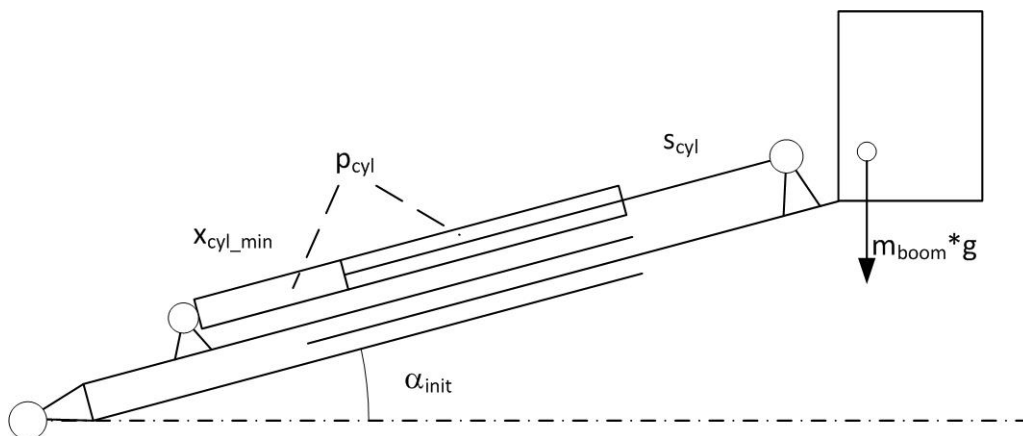
Puomin nostosylintereihin ei kohdistu tilanteesta riippumatonta vakiokuormitusta vaan sylinterien kuormat riippuvat voimakkaasti puomien keskinäisestä asennosta. Ennen kuin puomin sylintereille voidaan määrittää vaadittu koko, on määritettävä sylinterien maksimikuormitukset. Maksimikuormituksen ja vaadittavan sylinterikoon ratkaisemiseksi nivelpuomien sylintereille muodostettiin MathCad-laskentamalli, josta **Liite 2** esittää lähtöarvojen syöttösivun ja tulossivun. Laskentamalli ottaa huomioon nostettavan rakenteen painopisteen etäisyyden puomin nivelestä ja nostogeometrian ratkaisten kuormitustilanteet kaikissa mahdollisissa puomin asennoissa. Nostettavan rakenteen oletetaan pysyvän muuttumattomana, eikä laskentamalli huomioi rakenteessa olevia mekanismeja, jotka saattavat muuttaa painopisteen paikkaa. Mallille annettavat alkuarvot (**Kuva 5.7**) ovat, mitoituspaine p_{cyl} , Nostettavan puomirakenteen massa kuorman kanssa m_{boom} , painopisteen ja nostonivelen välinen etäisyys s_G , nivelen ja sylinterikorvakkeiden etäisyydet a_{cyl} ja b_{cyl} , sylinterin asennusmitta x_{cyl_min} ja iskunpituus s_{cyl} sekä nostonivelen ja nostettavan rakenteen painopisteen läpikulkevan suoran kulma suhteessa vaakatasoon α_{init} .



Kuva 5.7. Nivelpuomin nostosylinterin laskentamallin muuttujat

Laskentamallia käytettäessä on huomioitava, että malli soveltuu ainoastaan puristuksen alaisten sylinterien laskentaan. Lisäksi malli olettaa vastapaineen sylinterin männänvarren puolella nolllaksi.

Teleskooppisylinterille ei voida käyttää nivelpuomin sylinterien laskentamallia, joten sille tehtiin erilliset laskelmat sylinterin maksimikuormitustilanteissa. Teleskooppisylinterin tapauksessa maksimikuormitustilanne on helpompi muodostaa kuin nivelpuomin tapauksessa, koska kuormitus sylinterille on aina puomin suuntainen ja riippuu ainoastaan teleskooppipuomin kulmasta suhteessa vaakatasoon. Tässä tapauksessa teleskooppi ei saa negatiivisia nostokulman arvoja, jolloin sisäänpäin tapahtuvassa sylinterin liikkeessä kuormitus syntyy vain liukukitkasta. Suurilla puomin nostokulmilla laskuliike tapahtuu käytännössä painovoimaisesti. Teleskoopin mitoituksessa käytettiin muuttujissa samaa merkintätapaa kuin nivelpuomien laskennassa. Muuttuja α_{init} on tässä tapauksessa puomin kulma vaakatasosta valitussa kuormitustilanteessa (**Kuva 5.8**). Lisäksi mitoituslaskennassa huomioitiin, että sylinteriä käytetään differentiaalikytkennällä. Mitoitettava sylinteri on tuettu sylinteriputken molemmista päistä. Männänvarren puoleisessa päässä oleva nurjahdustuki sallii sylinterille pienen radiaalisen liikkeen. Teleskooppisylinterin mitoituksessa ei painopisteen sijoittumista rakenteesta huomioida vaan oletetaan sen vaikutus niin pieneksi, että se voidaan sisällyttää hieman ylimitoitettuun liukukitkakertoimeen.



Kuva 5.8. Teleskooppisylinterin laskennassa käytetyt muuttujat

Käyttäen nostosylinterien laskentamallia mitoitettiin puomin nostosylinterit. Kaikkien sylinterien mitoituspaineksi valittiin 20 MPa. Muut sylinterien mitoitusarvot (**Taulukko 5.7**) arvioitiin käyttäen koneesta muodostetun 3D-mallin antamia massoja ja geometrioita.

Taulukko 5.7. Puomin sylinterien mitoituksen lähtöarvot

Sylinteri	p_{cyl} [MPa]	α_{init} [°]	m_{boom} [kg]	s_G [m]	x_{cyl_min} [mm]	s_{cyl} [mm]	a_{cyl} [mm]	b_{cyl} [mm]
Nosto	20	-17	700	2,4	794	500	456	1116
Taitto	20	6	550	5,6	794	500	446	1034
Teleskooppi	20	0...70	450	-	2265	2000	-	-
Jib	20	-85	400	1,3	647	387	224	841
Vakaaja	20	-30	330	1,2	400	200	153	519

Puomin sylintereille laskettiin pienimmät mahdolliset soveltuvat arvot ja näiden perusteella valittiin sopivat sylinterikoot (**Taulukko 5.8**) huomioiden valmistuksen kannalta hyvät standardimitat.

Taulukko 5.8. Puomin sylinterien vaaditut minimikoot varmuuskertoimella 4 ja valitut sylinterikoot

Sylinteri	Mäntä D_{min} [mm]	Männänvarsi d_{min} [mm]	Valittu sylinteri $D/d/s$ [mm]
Nosto	51,6	36,8	70/40/500
Taitto	67,5	39,3	70/40/500
Teleskooppi	37,3	30,9	50/35/2000
Jib	51,0	36,2	70/40/387
Vakaaja	44,3	21,0	50/32/200

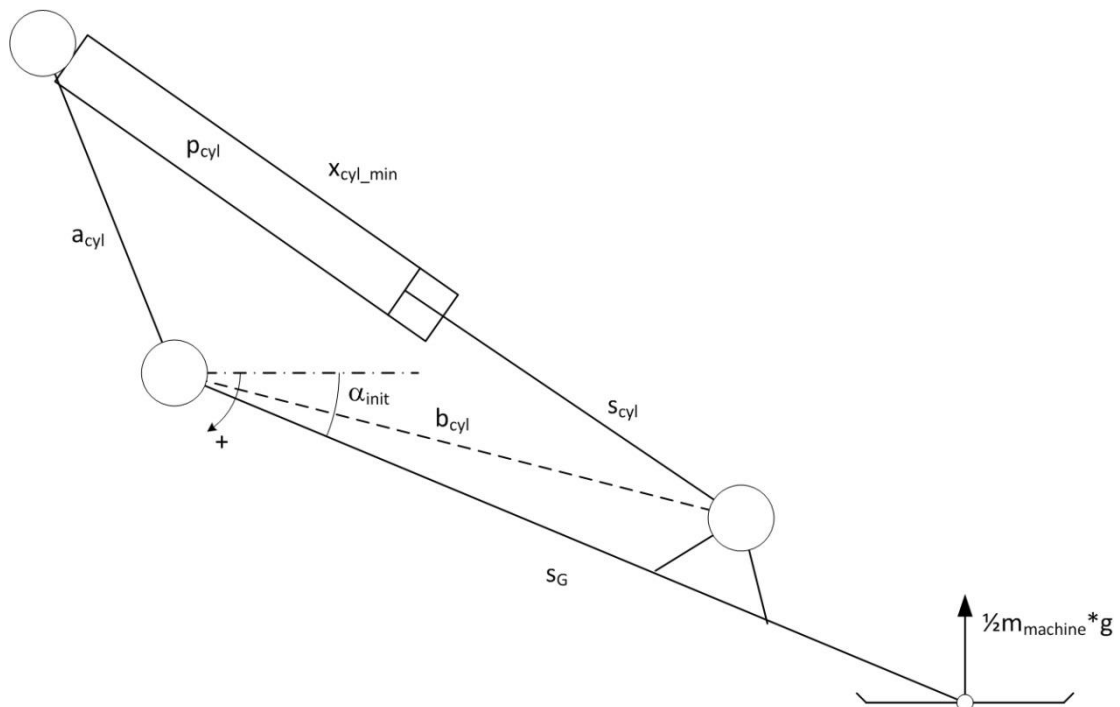
Nosto- ja taittosylinterien geometriat suunniteltiin siten, että voidaan käyttää samaa sylinteriä molemmissa toiminnoissa. Tästä johtuen nostosylinteri on hieman ylimitoitettu suhteessa vaadittuun männän minimihalkaisijaan. Teleskooppisylinterin männän ja männänvarren mitat valittiin, siten että differentiaali kytkentää käytettäessä saavutetaan mahdollisimman lähelle yhtä nopeat plus- ja miinusliikkeet. Jib-sylinterin mitat valittiin nostosylinterien mukaan, jolloin ne voidaan valmistaa samoista materiaaleista. Vakaa-jasylinterin asennustila on kriittinen, joten sylinteri pyrittiin pitämään ulkomitoiltaan mitoitusarvojen rajoissa mahdollisimman pienenä ja valittiin sylinterille sopivat standardikoot.

5.4.3 Tukijalkasylinterien mitoitus

Suunniteltavan henkilönostimen asettaminen nostoa varten vaakatasoon ja käytettävän tukipinta-alan laajentaminen suoritetaan käyttämällä neljää tukijalkaa, jotka on sijoitettu koneen neljään kulmaan. Tukijalat on suunnattu siten, että ne muodostavat noin 3x3 m

tukialueen, kun ne on ajettu ala-asentoonsa. Kuorma jakaantuu tukijaloille nostotilanteessa puomin asennosta riippuen. Pystysuoraan nostettaessa kuorman jakautuminen on likimain tasan kaikille jaloille, mutta viettäessä työtaso täyden sivu-ulottuman alueelle, siirtyy suurin osa kuormasta työtason puoleisille tukijaloille. Näin ollen tukijalkojen mitoituskriteerinä on, että niiden yhden tukijalkasynterin on kyettävä kantamaan puolet koneen kokonaiskuormasta tukijalkojen maksimipainetasolla.

Kuormitustilanne tukijalalle voidaan kuvata samoilla merkinnöillä (**Kuva 5.9**) kuin puomin mitoituksessa on käytetty. Erona tukijalkasynterin laskennassa on kuormituksen suunta ja puomin massan sijasta käytetään koneen maksimikuorman puolikasta. Tukijalkasynterin maksimikuormitus saadaan tässä tapauksessa synterin ääriasennossa, joka on samalla myös synterin pahin nurjahdustilanne.



Kuva 5.9. Tukijalan kuormitustilanne synterin mitoitukselle

Tukijalkojen mitoitusarvot taulukoitiin vastaavasti kuin puomin synterien laskennan tapauksessa (**Taulukko 5.9**). Ratkaistava geometria vastaa tyypiltään edellä laskettuja puomin kuormitusten geometrioita, sillä tukijalka toimii nivelenä ja synteriä kuormittaa puristusvoima.

Taulukko 5.9. Tukijalkasynterin mitoitusarvot

Synteri	p_{cyl} [MPa]	α_{init} [°]	$m_{machine}$ [kg]	s_g [m]	x_{cyl_min} [mm]	s_{cyl} [mm]	a_{cyl} [mm]	b_{cyl} [mm]
Tukijalka	20	-27,5	1830	1,42	760	525	311,5	1060

Tukijalkasynterille laskettiin männän ja männänvarren minimihalkaisijat suorittavan voimatarkastelu ja nurjahdustarkastelu oletetussa suurimman kuormituksen tilantees-

sa. Saatujen tulosten perusteella valittiin sopiva tukijalkasylinteri valmistettavaksi käyttäen sopivia vakiomittoja (**Taulukko 5.10**).

Taulukko 5.10. *Tukijalkasylinterin minimikoko varmuuskertoimella 4 ja valittu sylinteri*

Sylinteri	Mäntä D_{\min} [mm]	Männänvarsi d_{\min} [mm]	Valittu sylinteri $D/d/s$ [mm]
Tukijalka	60,8	44,1	63/45/525

Valitun männänvarren paksuus suhteessa männänhalkaisijaan on melko suuri. Sylinterin männän puoleinen pinta-ala on noin kaksinkertainen verrattuna männänvarren puoleiseen pinta-alaan. Tämä aiheuttaa likimain kaksi kertaa nopeamman paluuliikkeen kuin ojennusliikkeen. Näin ollen voi olla tarpeellista kuristaa virtausta männänvarren puolel-
le, jotta paluuliikkeiden hallittavuus kyetään säilyttämään.

6 OHJAUSJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU

Leguan Liftsin UltraLift-projektissa ohjausjärjestelmää lähdettiin katsomaan täysin uudesta näkökulmasta verrattuna aiempiin Leguan-nostinmalleihin. Aiemmin oli liikkeiden ohjauksessa pitäydytty vahvasti suorassa venttiiliohjauksessa ja sähköiset ohjaus-toiminnot liittyivät pääasiassa koneen toiminnan ylläpitoon, järjestelmän tilan valintaan ja turvaominaisuuksiin. Aiemmissa malleissa turvaominaisuudet ja muut sähköiset toiminnot toteutettiin relelogiikalla. Projektin alussa kartoitettiin mahdollisuuksia toteuttaa koneen koko ohjaus täysin sähköisesti tai sähköisten ja manuaalisesti ohjattujen komponenttien yhdistelmällä. Tämän lisäksi kartoitettiin asiakasvaatimuksia ja -toiveita keskustelemalla myyntiorganisaation ja asiakkaiden kanssa nykykoneiden ominaisuuksien riittävydestä ja uusien ominaisuuksien tarpeesta.

Ohjausjärjestelmän suunnittelun pohjana on vaatimusmäärittely, johon kaikki jatko-suunnittelu perustuu. Henkilönostimen kohdalla on toiminnallisten vaatimusten lisäksi erittäin tärkeää määritellä tarkasti ohjausjärjestelmään liittyvät turvallisuusvaatimukset. Vaatimusmäärittelyn lisäksi tässä luvussa käsitellään koneelle tehty alustava riskien arviointi sekä selvitetään markkinoilla tarjolla olevia turvalogiikoita ja niiden ominaisuuksia.

6.1 Vaatimusmäärittely

Ohjausjärjestelmän vaatimukset ovat osittain asiakaslähtöisiä, turvamääräyksistä johtuvia sekä huoltoon ja valmistukseen liittyviä. Asiakaslähtöiset vaatimukset liittyvät pääasiassa koneen käyttöön ja toimintoihin. Turvallisuusvaatimukset tulevat konedirektiivistä ja konetyyppikohtaisista turvallisuus- ja suunnittelustandardeista. Huollon ja asennuksen vaatimukset ovat toimintoja, jotka helpottavat koneen parissa työskentelyä sen jonkin osan vioituttua tai sen ollessa valmistusvaiheessa.

Perustoimintaan liittyviä vaatimuksia ovat mahdollisuus siirtää konetta ajamalla, asettaa kone tukijaloille ja ohjata puomia. Miten nämä toiminnot toteutetaan, riippuu edellä mainittujen sidosryhmien asettamista toiveista ja vaatimuksista. Asiakaslähtöiset vaatimukset liittyvät pääosin koneen perustoimintoihin. Toimintojen on oltava selkeitä, helppokäyttöisiä ja riittävän nopeita. Suunniteltava henkilönostin on varustettu liukuohjatulla ajovoimansiirrolla, jolloin koneen käyttäjä olettaa koneen kääntyvän pienessä tilassa, mutta kokemukseen perustuen kääntyminen on usein pitävällä alustalla nykivää. Tällöin toiveena on että, kääntymisen nykivyyttä pystyttäisiin jollakin tapaa vähentämään ja lisäämään ajomukavuutta. Toisaalta Leguan-koneet on myös tarkoitettu kulkemaan vaikeassa maastossa, jolloin maastonmuodoista johtuen koneen kulku voi tuntua kuljettajasta epämukavalta ja vaaralliselta. Tästä johtuu toive, että konetta olisi mahdol-

lista siirtää, myös työtason ulkopuolelta taluttaen. Koneen tasaaminen tukijaloille nostotoimintoja varten saattaa ensikertalaiselle olla alkuun haastavaa ja moni käyttäjä toivoisi koneen automatiikan hoitavan tasausvaiheen. Tämä toive on vuokraamojen mukaan lisääntyvä, mutta ominaisuus ei ole vielä välttämätön. Hallintalaitteiden tulisi olla käyttäjälle selkeät ja yksinkertaiset, jotta oppimiskynnys olisi uudellekin käyttäjälle mahdollisimman pieni. Puominohjauksessa kokenut käyttäjä haluaa ohjata useita toimintoja yhtäaikaaisesti ja nopeuttaa tällä työskentelyä. Kokemattomalle käyttäjälle liikkeiden moniajolla ei ole yhtä suurta merkitystä.

Koneturvallisuusmääräykset ja -standardit asettavat vaatimustason koneen turvallisuudelle ja turvallisuuden varmistamiseen tarvittaville ohjausjärjestelmän osille. Standardien mukaisesti valvottavia kohteita ovat muun muassa työtason kuorma, tukijalkojen asento sekä nostomekanismin asento ja ulottuma. Konedirektiiviin mukaan kone ei saa tehdä odottamattomia liikkeitä ja se on varustettava hätäpysäytyslaitteella, joka katkaisee tehonsyötön toimilaitteille. Standardissa EN 280 on listattu toiminnalliseen turvallisuuteen liittyvät turvalaitteet ja niiden vaadittu toiminnallisen turvallisuuden taso standardin ISO 13849-1 mukaisesti (EN 280:2013, s 63). Vastaava taulukko on myös esitetty Australian siirrettävien henkilönostinten standardissa. Australian standardi antaa toiminnallisen turvallisuuden tasot ISO 13849-1 lisäksi myös EN 954-1 ja IEC 62061 mukaisesti (AS/NZS 1418.10:2011, s 55-56). Vaatimuksena koneen suunnittelussa on, että kone täyttää kaikkien markkina-alueiden standardit niiden soveltuvien kohtien osalta. Seurattavat standardit ovat EN 280:2013, AS/NZS 1418.10:2011 ja ANSI/SIA A92.5-2006. Standardien mukainen suunnittelu lähtökohtaisesti täyttää konedirektiivin 2006/42/EY vaatimukset, mikä on kuitenkin varmistettava riskianalyysillä. Lisäksi on varmistettava, että Venäjälle toimitettavien koneiden ohjausjärjestelmät täyttävät tulliliiton tekniset vaatimukset dokumentin TR CU 010/2011 mukaisesti ja Venäjän määräykset liittyen nostolaitteiden asennukseen ja turvallisuuteen PB 10-611-03.

Ohjausjärjestelmän tulisi olla asennuksen ja huollon kannalta mahdollisimman helppo käyttää ja liittää koneeseen. Järjestelmässä tulisi olla toimintoja, jotka mahdollistavat vaivattomasti toimivan järjestelmän käytön asennus- ja huoltotilanteissa. Esimerkiksi hydraulikoneikon käynnistys ilman ohjauslogiikkaa ja venttiilien manuaaliset varakäyttövivut mahdollistavat koneen toimintojen käytön ilman ohjauslogiikkaa. Venttiilien ohjausasetusten valmis parametrisointi ja työtason kuorman punnitus järjestelmän helppo kalibrointi nopeuttavat koneen asetusten tekoa ja lyhentävät valmistusaikaa.

Koneen suunnittelua varten kirjoitettiin toiminnallinen kuvaus, jossa määritellään koneen toiminta, turvatoiminnot ja koneeseen liittyvät ohjaimet sekä vaatimukset ohjausten ja liikkeiden toiminnalle. Toiminnallisen kuvauksen oleelliset vaatimusmäärittelyt on esitetty luvuissa 6.1.1, 6.1.2 ja 6.1.3.

6.1.1 Ohjaustoiminnot

Suunniteltavalla henkilönostimella on kaksi ohjauspaikkaa. Pääasiallinen ohjauspaikka sijoitetaan työtasolle ja toissijaiset ohjaimet sijoitetaan paikkaan, joka on tavoitettavissa maatasosta. Pääohjaimena on tarkoitus käyttää radio-ohjainta, joka on mahdollista irrottaa työtason ohjauspaneelistä, jolloin koneen siirto- ja pystytystoimintoja voidaan käyttää koneen ulkopuolelta. Koneen nostotoimintoja käytettäessä radio-ohjaimen tulee olla kytkettynä koneeseen kaapeliyhteydellä tai ohjaimen tulee olla sijoitettuna työtasolle valmistajan osoittamalle paikalle. Ohjaustoimintoja käytetään analogisilla lineaarivuilla, vipukytkeillä tai painikkeilla riippuen ohjattavasta toiminnosta. Puomin nostotoimintojen on toimittava portaattomasti käytettäessä työtason ohjaimia. Alaohjaimia käytettäessä nostotoiminnot toteutetaan painikeohjauksena eikä alaohjaimilla ole mahdollista suorittaa koneen siirto- tai pystytystoimintoja.

Ohjaustoimintojen suunnittelussa on otettava huomioon valmiiden radio-ohjainlaitteiden rajoitukset ohjattavien toimintojen määrälle. Toimintojen määrää voidaan tarvittaessa kasvattaa käyttämällä valintakytkeä, jotka vaihtavat ohjainvipujen lähettämää käskyä koneen ohjausjärjestelmälle. Lähtökohtaisesti jokaiselle yksittäiselle ohjaustoiminnoille on kuitenkin nimikoitu ohjain, joka toteuttaa ainoastaan kyseisen ohjaustoiminnon. **Taulukko 6.1** sisältää koneen pääohjaimelta vaaditut toiminnot.

Taulukko 6.1. Ohjausjärjestelmän pääohjaimella käytettävät ohjaustoiminnot

Ohjaustoiminto	Ohjaustapa	Toiminnon kuvaus
Hätäpysäytys	Digitaalinen	Antaa koneelle pysäytyskäskyn, pysäyttää tehonsyötön toimilaitteille, siirtää ohjauslogiikan turvtilaan ja sammuttaa moottorit
Ohjainyksikön käynnistys	Digitaalinen	Käynnistää pääohjausyksikön
Polttomoottorin käynnistys ja sammutus	Digitaalinen	Polttomoottorin ollessa sammutettuna ohjauskäsky käynnistää sen ja polttomoottorin käydessä toiminto sammuttaa sen
Sähkömoottorin käynnistys ja sammutus	Digitaalinen	Sähkömoottorin ollessa sammutettuna ohjauskäsky käynnistää sen ja sähkömoottorin käydessä toiminto sammuttaa sen
Hehkutus	Digitaalinen	Dieselmoottorilla varustetuissa koneissa toiminto käynnistää moottorin hehkutustoiminnon
Pikavaihde	Digitaalinen	Ollessaan aktiivisena siirtotoimintojen aikana toiminto kytkee polttomoottorin lisäpumpun virtauksen järjestelmään
Telojen levitys	Digitaalinen	Kaksisuuntainen toiminto, joka säätää koneen alustan leveyttä

Tukijalkojen ohjaus	Digitaalinen	Jokaista tukijalkaa voidaan ohjata yksitellen ylös tai alas. Eri tukijalkojen yhtäaikainen ohjaus on mahdollista mielivaltaisena kombinaationa.
Automaattitasaus	Digitaalinen	Kaksisuuntainen toiminto, joka ohjaa tukijalkojen liikkeitä koneen automatiikan avulla. Ohjattaessa tukijalkoja alas toiminto tasaa nostimen vaakatasoon nostotoimintoja varten. Ylöspäin ohjattaessa ajetaan kaikkia tukijalkoja yhtäaikaisesti ylös.
Siirto	Analoginen	Koneen siirto perustuu liukuohjaukseen, jota käytetään kahdella lineaarivivulla. Toinen lineaarivivusta ohjaa nostimen alustan oikean puolen ja toinen vasemman puolen liikettä
Nostopuomi	Analoginen	Lineaarivivulla toteutettu nivelpuomin ohjausliike, jolla vaikutetaan työtason korkeuteen ja etäisyyteen koneen keskiakselista
Taittopuomi	Analoginen	Lineaarivivulla toteutettu nivelpuomin ohjausliike, jolla vaikutetaan työtason korkeuteen ja etäisyyteen koneen keskiakselista
Teleskooppipuomi	Analoginen	Lineaarivivulla toteutettu teleskooppipuomin ohjausliike, joka muuttaa nostimen yläpuomin pituutta
Jib-puomi	Analoginen	Lineaarivivulla toteutettu nivelpuomin ohjausliike, jolla vaikutetaan työtason korkeuteen ja etäisyyteen koneen keskiakselista
Korin kääntö	Digitaalinen	Lineaarivivulla tai vipukytkimellä toteutettu ohjaus työtason käännölle vaakatasossa, jolla voidaan muuttaa työtason kulmaa suhteessa nostopuomiin
Puomin kääntö	Analoginen	Lineaarivivulla toteutettu koko puomistoa kääntävä toiminto, jolla työtasoa voidaan siirtää nostimen pystyakselin ympäri
Vakaajan pakko-ohjaus	Digitaalinen	Isäntä-orja-järjestelmän asemointi virheen korjaukseen käytettävä ohjauskomento. Toiminto muuttaa työtason kulmaa suhteessa vaakatasoon

Osa ohjaustoiminnoista on vakiona kaikissa valmistettavissa koneissa, mutta osa toiminnoista riippuu koneen konfiguraatiosta. Tällaisia toimintoja ovat muun muassa Jib-puomin ohjaus, telaston levitys ja moottorin hehkutus sekä korin kääntö. Kaikkien näiden toimintojen toiminnallisuus on rakennettuna ohjausjärjestelmään, mutta niiden ohjaamat fyysiset toimilaitteet puuttuvat, jolloin ohjaustoiminnot poistetaan käytöstä.

Pääohjainlaitteiden lisäksi nostinta voidaan ohjata käyttämällä alaohjauspaneelia, joka on saatavilla koneeseen optiona. Alaohjauspaneelin lisäksi ohjausjärjestelmään liittyy myös varalaskujärjestelmät ja muut ohjaukseen liittyvät optiot (**Taulukko 6.2**).

Taulukko 6.2. Alaohjaustoiminnot, varalaskujärjestelmät ja lisäoptiot

Ohjaustoiminto	Ohjaustapa	Toiminnon kuvaus
Hätäpysäytys rungossa	Digitaalinen	Koneen alaohjauspaneeli sisältää hätäpysäytys-painikkeen, jonka ohittaminen ei ole mahdollista
Hätäpysäytys työtasolla	Digitaalinen	Työtasolla on kiinteä hätäpysäytys painike radio-ohjainyksikön hätäpysäytyksen lisäksi. Tämä on mahdollista ohittaa alaohjauspaneeliin sijoitetulla kytkimellä
Sallintakytkin työtasolla	Digitaalinen	Optiona koneeseen on saatavilla sallintapoljin työtasolle. Puominohjausliikkeitä tehdessä sallintapoljin on oltava painettuna ennen liikkeiden aloittamista
Puominliikkeiden ohjaus alaohjauspaikalta	Digitaalinen	Tärkeimpiä puomin toimintoja on mahdollista ohjata alaohjauspaneelissa olevilla ohjauspainikkeilla. Ohjattavat toiminnot ovat: nosto, taitto, teleskooppi, jib ja pyöritys. Ohjattaessa työtason liikkeitä on ohjauspaneelin sallintakytkin oltava painettuna ja ainoastaan yhtä liikettä on mahdollista ohjata kerrallaan.
Koneen käynnistys	Digitaalinen	Alaohjauspaneelissa on käynnistyspainikkeet sähkö- ja polttomootoreille. Painikkeet toimivat samoin kuin yläohjaimissa (Taulukko 6.1).
Ohjauspaikan valinta	Digitaalinen	Alaohjauspaneelissa on valintakytkin, jolla valitaan käytetäänkö puomin ohjaukseen ylä- vai alaohjaimia. Käytettäessä alaohjausta järjestelmä ohittaa radioohjaimen hätäpysäytysjärjestelmän
Hätäpysäytyksen ohitus	Digitaalinen	Työtason hätäpysäytyspainike on mahdollista ohittaa käyttäen palautuvaa kytkintä. Ohitustoiminto toimii ainoastaan, kun alaohjauspaikka on valittu aktiiviseksi ohjauspaikaksi
Turvarajojen ohitus	Digitaalinen	Palautuvaa kytkintä käyttäen on mahdollista ohittaa koneen turvarajoja ja ohjata puomia hidastetuin nopeuksin alaohjauspaneelistä liike kerrallaan. Toiminnon käyttö on sallittua ainoastaan työntekijän pelastamiseksi työtasolta ja sen toiminnallisen turvallisuuden tason on oltava ohitettavan toiminnon toiminnallisen turvallisuuden tasoa vastaava
Varalaskupainikkeet	Digitaalinen	Alaohjauspaneelissa ja työtasolla on kiinteät painikkeet, joilla voidaan kytkeä päälle nostosylinterien varalaskuventtiilit (Kuva 5.3)
Huoltokäyttöpainike	Digitaalinen	Koneen rungossa on kiinteä huoltokäyttöpainike, jolla voidaan käynnistää sähkömoottori ja ajaa koneen liikkeitä venttiilien varakäyttövivulla

Alaohjauspaneeli mahdollistaa käyttäjälle ainoastaan puomin ohjausliikkeet eikä tukijalkojen tai alustan ohjaus ole mahdollista käyttäen tätä ohjauspaneelia. Alaohjauspaneelin pääasiallinen tarkoitus on mahdollistaa työtason ohjainlaitteiden ohittaminen maatasosta, jolloin ohjaimia voidaan käyttää esimerkiksi työtasolle tuupertuneen käyttäjän pelastamiseksi.

6.1.2 Turvatoiminnot

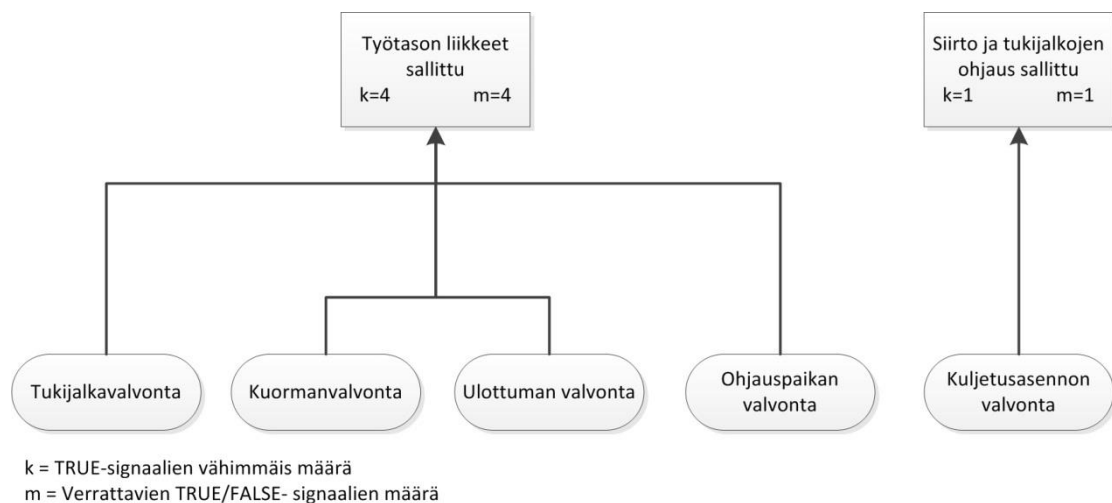
Siirrettävien henkilönostinten standardeissa EN 280:2013 ja AS 1418.10:2011 on määritelty kattavasti henkilönostimen ohjausjärjestelmän vaatimat turvatoiminnot. Edellä mainituissa standardeissa myös esitetään vaadittu toiminnallisen turvallisuuden suoritustaso esitetyille turvatoiminnoille. Koska standardi käsittelee erityyppisiä itse liikkuvia henkilönostimia ja erilaisia teknisiä toteutustapoja, on suunnittelijan valittava suunniteltavaan koneeseen kohdistuvat turvatoiminnot. **Taulukko 6.3** sisältää Leguan 135 -nostimeen liittyvät turvatoiminnot standardien EN 280 ja AS 1418.10 mukaisesti. Vaadittu suoritustaso on esitetty ISO 13849-1 mukaisesti.

***Taulukko 6.3.** Leguan 135 -nostimeen liittyvät turvatoiminnot*

Turvatoiminnon nimitys	Turvatoiminnon kuvaus	Viittaus standardin kohtaan (EN 280 / AS 1418.10)	ISO 13849-1 mukainen suoritustaso turvatoiminnoille (PL_r)
Siirron esto	Koneen siirto on estetty työtason ollessa nostettuna kuljetusasennosta.	5.3.1.1 / 2.2.1	c
Tukijalkavalvonta	Työtason liikkeet estetään tukijalkojen ollessa irti maakosketuksesta	5.3.1.9 / 2.2.7.1	c
Kuljetusasennon valvonta	Tukijalkojen liikkeet estetään työtason ollessa pois kuljetusasennosta	5.3.2.1.4 / 2.2.10	d
Kuormanvalvonta	Kuormanvalvonta antaa visuaalisen ja kuultavan varoituksen sekä pysäyttää työtason, mikäli sallittu kuorma työtasolla ylittyy	5.4.1.2 / 2.3.1.2	d

Ulottuman valvonta	Ohjausjärjestelmä rajoittaa työtason liikkeit sallitulle työskentely alueelle	5.4.1.3.3 / 2.3.1.3	d
Ohjauspaikan valvonta	Lukitsee ohjauspaikan valinnan siten, että koneen ohjaaminen on mahdollista vain yhdeltä ohjauspaikalta kerrallaan	5.7.4 / 2.6.5	c
Kallistuksen valvonta	Kallistusvaaka osoittaa onko nostimen rungon kallistuma valmistajan sallimien rajojen sisällä työtasoa nostettaessa	5.3.1.2 (5.3.1.2) / 2.2.2	c

Esitellyistä turvatoiminnoista (**Taulukko 6.3**) kallistuksen valvonta ja isäntä-orja-järjestelmä eivät sisällä toiminnalliseen turvallisuuteen liittyviä lukituksia. Näin ollen ohjausjärjestelmän turvalogiikkaan sisältyy kuusi turvatoimintoa: siirron esto, tukijalkavalvonta, kuljetusasennon valvonta, kuormanvalvonta, ulottuman valvonta ja ohjauspaikan valvonta. Näiden tilojen perusteella saadaan määritettyä ohjausjärjestelmän sallitut tilat totuuslohkokaaviona (**Kuva 6.1**).

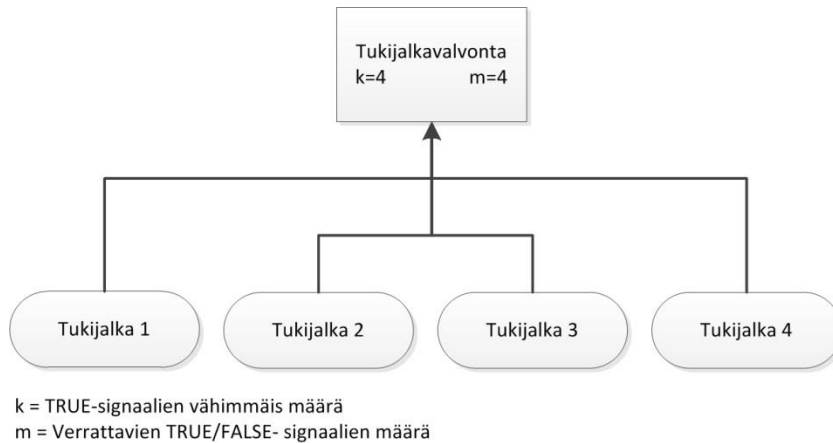


Kuva 6.1. Ohjausjärjestelmän toimintatilojen sallintaehdot totuuslohkokaaviona

Kaaviossa (**Kuva 6.1**) koneen siirto ja tukijalkojen ohjaus on yhdistetty yhden loogisen turvatoiminnon taakse. Näin voidaan tehdä, sillä molemmat riippuvat vain yhdestä ja samasta anturisignaalista. Kuljetusasennon valvonnan vaadittu suoritustaso (PL_T) on d, joten tältä osin järjestelmä täyttää myös siirron eston vaatimuksen PL_T c. Suoritustasolle c voidaan päästä hyvin koetelluilla komponenteilla tai lisäämällä järjestelmään diagnostiikka kanava. Suoritustasolla d tulee diagnostiikan tason olla korkeampi kuin suoritus-

tasolla c tai toiminto on kahdennettava. Kuvan mukaisesti, jotta työtason liikkeet voidaan sallia, järjestelmä vaatii, että kaikki neljä turvatoimintoa: Tukijalkavalvonta, kuormanvalvonta, ulottuman valvonta ja ohjauspaikan valvonta antavat TRUE-signaalin.

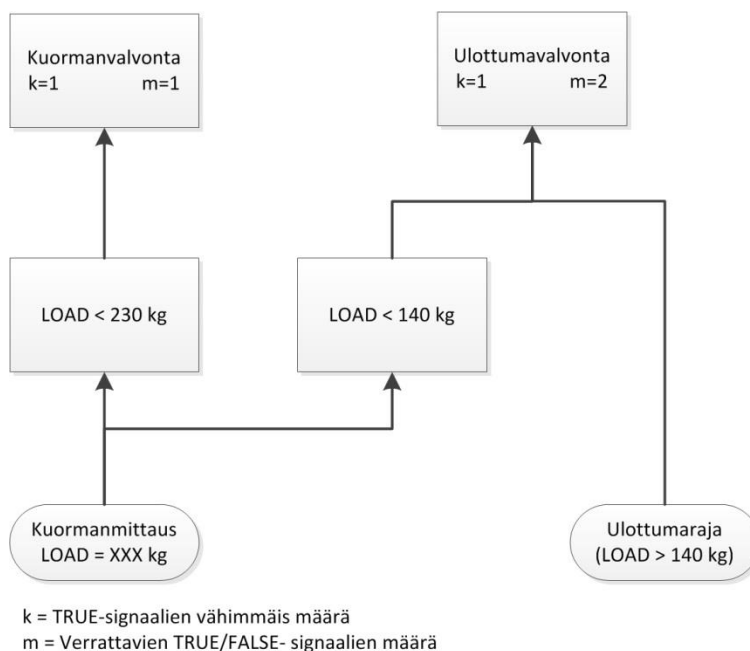
Turvatoiminnot voidaan edelleen jakaa lähtemään niitä koskevista anturisignaaleista. Tukijalkavalvonta suoritetaan tutkimalla tukijalkojen maakosketusta rajakytkintiedolla. Näin ollen tukijalkavalvonnalle saadaan totuuslohkokaavio (**Kuva 6.2**).



Kuva 6.2. Tukijalkavalvontan totuuslohkokaavio

Jokaisen tukijalan rajakytkimeltä vaaditaan siis TRUE-signaali, jotta turvatoiminnolta saadaan salliva signaali.

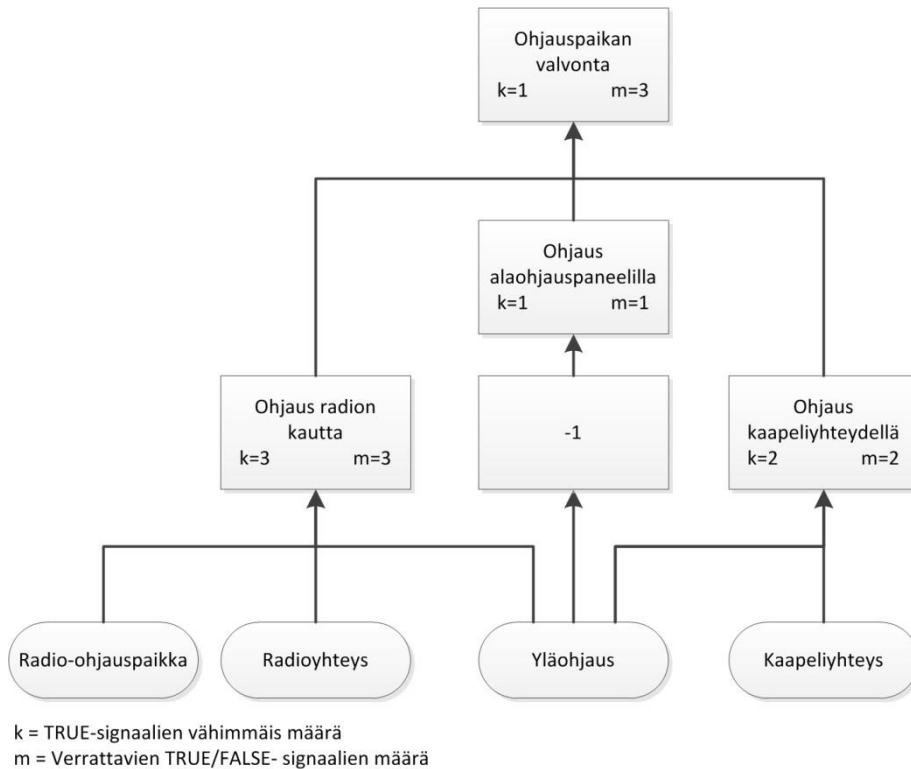
Kuormanvalvonta ja ulottumavalvonta ovat toiminnallisesti hyvin lähellä toisiaan. Ohjausjärjestelmä mittaa kuormaa analogisesti ja tätä mitattua kuormaa käytetään sekä ulottuma-, että kuormanvalvonnassa. **Kuva 6.3** esittää kuorman- ja ulottumavalvontan totuusarvon evaluoitumisen totuuslohkokaaviolla.



Kuva 6.3. Kuorman- ja ulottumavalvontan totuuslohkokaavio

Ulottumaraja antaa TRUE-signaalin nostopuomin ollessa maksimikuorman sallivassa asennossa ja kuorman valvonta työtason kuorman ollessa sallituissa rajoissa.

Ohjauspaikan valvonta suoritetaan tutkimalla neljää järjestelmän signaalia: Onko yläohjaus valittu, onko yläohjain kytketty järjestelmään radiosignaalin vai kaapeliyh-teydellä ja onko yläohjain asetettu työtasolla sijaitsevalle ohjauspaikalle. Vaaditut kyt-kentäkombinaatiot poissulkevat toisensa, jolloin ohjauspaikan valvonnalle saadaan muodostettua totuuslohkokaavio (**Kuva 6.4**).



Kuva 6.4. Ohjauspaikan valvonnan totuuslohkokaavio

Lohkokaaviosta voidaan todeta, että alaohjauspaneeli on käytössä, mikäli yläohjaus ei ole valittuna. Yläohjaimen käyttö kaapelin kautta vaatii, että yläohjaus on valittu ja sen signaali on aktiivinen. Toteutuksellisesti on kuitenkin järkevintä tarkastella yläohjauksen valintaa aktiivisena nollana ja alaohjauksen valintaa aktiivisena ykkösenä, mikäli valinta on toteutettu on/off -kytkimellä. Jotta radio-ohjausta voidaan käyttää työtason liikkeiden ohjaamiseen, on yläohjaimen oltava sijoitettuna määrätyle ohjauspaikalle.

Edellä esitetyt loogiset tarkastelut liittyvät ainoastaan turvakriittisten signaalien lukemiseen ja prosessointiin logiikan sisällä. Saatua loogista loppupäätelmää käytetään koneen ohjauksen sallintaehtona turvakriittisille venttiiliohjauksille. Tässä tapauksessa turvakriittisiä venttiiliohjauksia ovat valintaventtiili ja vapaakiertoventtiili (**Kuva 5.2**). Ohjauksen sallintahtoa voidaan käyttää myös toimilaitteiden ohjausventtiileiden ohjauksen sallintahtona vaikka nämä eivät ole turvakriittisiä ohjaustoimintoja. Näin voidaan parantaa järjestelmän todellista turvallisuutta, koska ohjausjärjestelmä ei pyri tekemään sallimattomia liikkeitä. Toisin sanoen estetään tilanne, jossa esimerkiksi jotakin puomin suuntaventtiiliä ohjataan, mutta turvaventtiili estää tehonsyötön ohjauksen koh-

teena olevalle toimilaitteelle. Käytännössä turvaventtiileillä ja normaaliventtiileillä on siis samat ohjausehdot, mutta ohjauslogiikan turvaventtiililähtöjä monitoroidaan tarkemmin ja havaittaessa virhe lähdön toiminnassa ohjauslogiikka siirtyy turvatilaan. Turvatilassa kaikki logiikan lähdöt kytketään pois päältä.

6.1.3 Langattoman ohjauksen vaatimukset henkilönostimessa

Vaatimukset langattomien ohjainlaitteiden käytöstä siirrettävissä henkilönostimissa on määriteltä viimeisimmissä Euroopan ja Australian standardeissa EN 280 ja AS/NZS1418.10. Standardien vaatimukset ovat pääosin yhteneviä mutta sisältävät pieniä eroavaisuuksia. Standardin EN 280:2013 luvussa 5.7.4 esitetään vaatimuksiksi langattoman ohjauksen käytölle nousevan rakenteen ohjauksessa sekä työtaso kohotettuna tehtävien ajoliikkeiden ohjauksessa ohjaimen läsnäolon tunnistuksen työtasolla. Ohjaimen läsnäolon tunnistava laite ei saa olla helposti ohitettavissa ja sen tulee olla standardin kohdan 5.11 mukainen turvalaite. Lisäksi langattomien ohjainlaitteiden on täytettävä EN 280:2013 liitteen F vaatimukset.

Standardin EN 280:2013 liitteen F mukaan langattomat ohjauslaitteet on suunniteltava EN 60204-32:2008, 9.2.7 mukaisesti sekä liitteessä esitettyjen erityisvaatimusten mukaisesti. Esitetyt erityisvaatimukset liittyvät ohjausrajoitteisiin, pysäytystoimintoihin, sarjadataliikenteeseen, useamman ohjauspaikan käyttöön, akun varassa toimivien ohjausosien vaatimuksiin, vastaanottimen vaatimuksiin, varoituksiin ja käyttöohjeisiin.

Ohjausrajoitteet liittyvät lähinnä koneen odottamattomien liikkeiden ehkäisyyn. Lähettimen käynnistyminen ei saa aiheuttaa mitään liikettä. Vastaanotin ei saa lähettää ohjausjärjestelmälle ohjaussignaaleita, mikäli viestien oikeellisuutta ei ole todennettu. Pääkontaktori saa olla kytketty päälle vain jos vastaanotetaan vähintään yksi oikeaksi todennettu viestikehys ilman ohjauskomentoja, mutta sisältäen käynnistyskäskyn. Minikä tahansa SHN:n pysähtymisen aiheuttaneen tapahtuman jälkeen järjestelmä saa lähettää ohjauskäskyjä ainoastaan kuljettajan vapautettua ohjaimet tarpeeksi pitkäksi aikaa. Aina, kun kauko-ohjain ei ole valittuna, kaikki vastaanottimen antamat ohjauskäskyt SHN:n liikkeille on poistettava toiminnasta. (EN 280:2013, s. 92)

Langattoman ohjauksen kautta tehtävä hätäpysäytystoiminto on ohjausjärjestelmän turvakriittinen osa, jolle on määritetty suoritustaso ”d” ISO 13849-1:2008 mukaan. Ohjausjärjestelmän on pysäytettävä kaikki SHN:n liikkeet, kun hyväksyttyä viestiä ei ole vastaanotettu 0,5 sekunnin aikana. Liikkeet on myös pysäytettävä, mikäli vastaanotin havaitsee ohjausjärjestelmän tilan eroavan vastaanottimen lähettämistä komentoista. Jos hätäpysäytystoiminto toteutettuna luokan 0 mukaisesti aiheuttaa riskin kasvua, voidaan se toteuttaa luokan 1 mukaisesti. (EN 280:2013, s. 92)

Viestikehys tulee lähettää toistuvasti toiminnan aikana. Järjestelmän lähetyksen luotettavuutta arvioidaan merkkietäisyyden (Hamming distance) avulla. Merkkietäisyyden on oltava viestikehyksessä olevien bittien kokonaismäärä jaettuna 20:llä ja vähintään 4. Vaihtoehtoisesti muitakin keinoja, jotka varmistavat yhtä hyvän yhteyden luotettavuuden on mahdollista käyttää siten, että virheellisen viestikehyksen läpipääsyn mahdollisuus on alle 10^{-8} . (EN 280:2013, s. 92)

Useampia ohjauspaikkoja (kauko-ohjaus) käytettäessä siirtyminen lähettimestä toiseen ei saa olla mahdollista ilman, että ensimmäinen lähetin on sammutettu tähän tarkoitettuun toiminnolla. Useamman lähetin-vastaanotin -parin on kyettävä toimimaan samalla alueella ilman, että ne aiheuttavat häiriötä toistensa toimintaan. (EN 280:2013, s. 93)

Akun varassa toimivien ohjauspaikkojen on akun varauksen laskiessa annettava varoitus ja varauksen laskiessa niin alas, että luotettavaa lähetystä ei voida varmistaa, on lähettimen automaattisesti mentävä lukittuun tilaan. Vastaanottimen on läpäistävä EN 60068-2-24 mukainen ”Test Fh” (tärinä- ja laajakaistakoe). (EN 280:2013, s. 93)

Siirrettävä henkilönostin, joka on varustettu langattomalla ohjauksella ja jonka vaara-alueella voi olla henkilöitä, joilla on riskinä jäädä jumiin, yliajetuksi tms. on varustettava lisävaroituksilla. Sisäänkäynnillä on oltava merkintä, joka kertoo koneen olevan varustettu langattomalla ohjausjärjestelmällä. Lisäksi SHN on varustettava vaihtoehtoisesti jatkuvalla visuaalisella varoituksella, kun langaton ohjaus on päälle kytkettynä tai automaattisella akustisella ja/tai visuaalisella varoituksella ennen SHN:n liikkeitä. Kaiken tämän lisäksi valmistajan käyttöohjeiden on sisällettävä asennustiedot varmistamaan, että langattoman ohjauksen ollessa käytössä, se ei häiritse muita alueella käytössä olevia järjestelmiä eikä tule häirityksi muiden alueella olevien järjestelmien toimesta. (EN 280:2013, s. 93)

Australian henkilönostinstandardi AS/NZS 1418.10 ei ota kantaa radio-ohjauspaikan valvontaan eikä vaadi käyttäjän informointia radio-ohjauksen päällä olosta kuten EN 280, mutta vastapainoksi se vaatii kuolleenmiehenkytkimen käytön liikkeiden ohjauksessa käytettäessä radio-ohjainta. Lisäksi kaikkien langattomien lähettimien on oltava suojattu vähintään luokan IP65 mukaisesti. (AS/NZS 1418.10:2011)

Edellä esitetyt vaatimukset langattomille ohjausjärjestelmille ovat melko tiukat ja vaatimusten täyttäminen vaatii korkeaa teknistä osaamista langattomasta ohjauksesta. Tämän vuoksi projektissa kartoitettiin sopivia kaupallisten valmistajien radio-ohjausjärjestelmiä, jotka sopisivat toimimaan henkilönostinkäytössä. Ohjainvalmistajia, joilla olisi referenssejä radio-ohjauksen käytöstä henkilönostinten työtason ohjauksessa, ei kuitenkaan löytynyt yhtäkään. Kannettavia radio-ohjaimia on käytetty useissa koneissa muun muassa koneen siirtoon sekä tukijalkojen ohjaukseen, mutta työtason ohjaukseen vain, kun kauko-ohjain on kytketty koneen ohjausjärjestelmään kaapeliyhteydellä. Projektissa haluttiin saavuttaa kuitenkin mahdollisuus työtason ohjaukseen langattomasti, joten se otettiin mukaan yhtenä optiona ja radio-ohjausjärjestelmän toimittajaksi valittiin valmistaja, joka kykenee täyttämään EN 280:2013 vaatimukset radio-ohjainlaitteille henkilönostinkäytössä.

6.2 Riskianalyysi

Koneesta toteutettiin alustava riskin arviointi käyttäen pohjana konedirektiiviä ja standardeja ISO 12100, ISO 14121-2 ja EN 280. Riskianalyysin toteutustapa saadaan standardista ISO 12100, vaarojen tunnistamisen periaatteet standardista ISO 14121-2 ja

huomioon otettavat vaarat voidaan johtaa konedirektiivistä sekä EN 280 vaaraluetteloa käyttäen.

Koneen raja-arvojen määrittäminen (**Taulukko 6.4**) suoritettiin ISO 12100 mukaisesti ottaen huomioon koneen elinkaaren eri vaiheet. Raja-arvojen määrittäminen tarkoittaa, että yksittäisen koneen tai samaa prosessia suorittavan koneyhdistelmän ominaisuudet ja suoritusarvot sekä niihin liittyvät ihmiset, ympäristö ja tuotteet olisi tunnistettava ISO 12100: 2011 kohtien 5.3.2 – 5.3.5 mukaisesti.

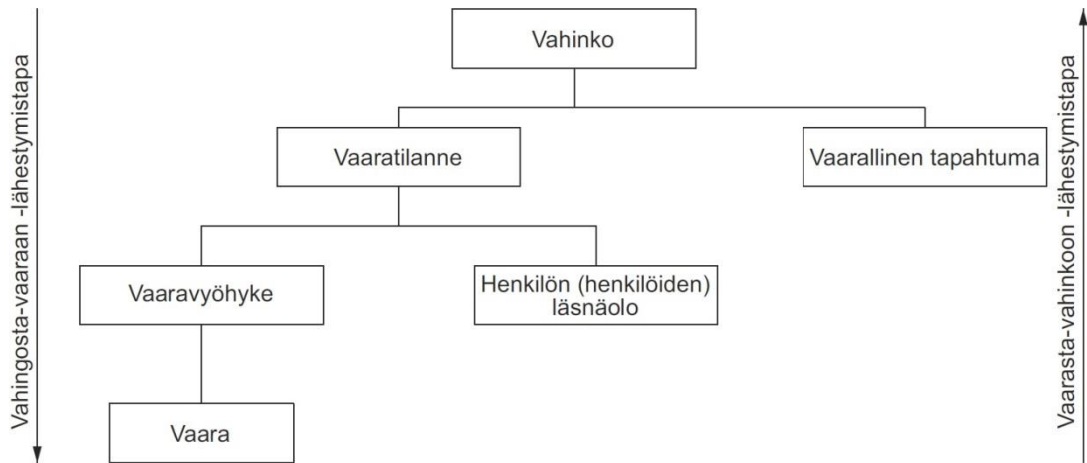
Taulukko 6.4. Koneen raja-arvot

	Tunnistettujen raja-arvojen kuvaus ISO 12100:2011 mukaisesti
Käyttöraajat	<p>a) Kone toimii korotettuna työtasona, jonka siirto on mahdollista sen oman voimanlähteen avulla. Työtasoa liikutetaan koneen ollessa paikoillaan erilaisten rakennusten ja rakenteiden läheisyydessä. Koneen työtason liikkeitä ohjataan työtasolta. Voidaan olettaa että konetta pyritään käyttämään myös tavaranoistimena, mikä ei ole tarkoituksen mukainen käyttötapa. Työtason ohjauspaikka on normaalisti työtasolta. Ohjain on kuitenkin kannettavaa mallia, mikä mahdollistaa työtason ohjaamisen maatasosta. Konetta voi ohjata puomin kylkeen asennetuilla alaohjaimilla</p> <p>b) Konetta käytetään sekä ammatti että yksityiskäytössä. Koneenkäyttäjät ovat yli 18-vuotiaita miehiä tai naisia. Useampien raajojen puuttuminen ja näkökyvyn puuttumien ovat esteitä koneen käytölle. Käyttäjän tulee ylettyä kokonsa puolesta käyttämään noin metrin korkeudella olevaa ohjausyksikköä.</p> <p>c) Koneen käyttäjän oletetaan olevan vähintään peruskoulusivistyksen saanut henkilö, jolle on annettu nostimen käyttökoulutus/ohjeistus tai käyttäjän tulee olla perehtynyt koneen ohjekirjaan ennen käytön aloittamista.</p> <p>d) Koneen oletetaan toimivan myös alueilla, joissa liikkuu henkilöitä, joilla ei ole käsitystä koneen ympäristössä olevista vaaroista</p>

Tilarajat	<ul style="list-style-type: none"> a) Koneen liikkeet ovat laajuudeltaan laskettavissa metreissä. Kääntötilanteissa koneen keula ja perä tekevät laajan liikkeen. Puomia kääntäessä osa puomista saattaa olla kääntöakselin ja koneen rungon rajojen ulkopuolella b) Koneen käyttäjälle on varattu tilaa työtasolla ohjausliikkeiden toteuttamiseksi. Alaohjaimet on sijoitettu siten, että käyttäjä yltää ohjaimille rungon ulkopuolella seisten. Huoltokohteet saattavat vaatia koneen nostamista tukijaloille ja puomin nostamista pois kuljetus-tuelt, jotta niille päästään. c) Ohjainlaitteet on sijoitettu helposti luokse päästäviin kohteisiin. Kannettavia ohjainlaitteita voidaan käyttää sopivan etäisyyden päässä koneesta d) Tehonsyöttö tapahtuu koneen sisäisellä voimanlähteellä tai verkkosähköllä, jolloin kytkentäpinta on koneen rungossa
Aikarajat	<ul style="list-style-type: none"> a) Koneen osat on suunniteltu kestävänsä koneen suunniteltu kymmenen vuoden elinikä. Käytettäessä hapettavia tai syövyttäviä aineita koneen ympäristössä voi koneen elinikä lyhentyä. Osien vikaantuminen tulee havaita vuosittaisessa kuntotarkastuksessa b) Koneen kunto tulisi tarkastaa sen seisottua käyttämättömänä useamman viikon, päivittäin ennen käyttöä ja vuosittain koneelle tehtävän vuosihuollon yhteydessä
Muut raja-arvot	<ul style="list-style-type: none"> a) Koneen ympäristössä ei tule käsitellä syövyttäviä tai hapettavia aineita b) Kone tulee puhdistaa aina näkyvästä liasta. Öljyvuotoja ei tule sallia c) Kone on suunniteltu käytettäväksi sekä ulko- että sisätiloissa kaikissa sääoloissa. Konetta ei tule käyttää kovalla tuulella (yli 12 m/s). Sallittu käyttölämpötila alue on -20...60 °C

Koneen käyttörajojen tunnistamisen jälkeen voidaan tunnistaa koneeseen liittyviä vaaroja ja vasta vaarojen tunnistuksen jälkeen on mahdollista suorittaa vaaroihin liittyvän riskin arviointi sekä toimenpiteitä riskien pienentämiseksi. Vaarojen tunnistamisessa on myös tärkeää tunnistaa koneella suoritettavat käyttötoiminnot ja tehtävät. Henkilönsä-
timella suoritetaan nostoliikkeitä ja työtasolla kuljetetaan myös työkaluja. Koneen elin-
kaaren aikana sille tehdään parametrien asetuksia ja korjauksia, kuten hydrauliletkujen
ja suodatinten vaihtoja. Koneen turvajärjestelmät myös testataan ajoittain.

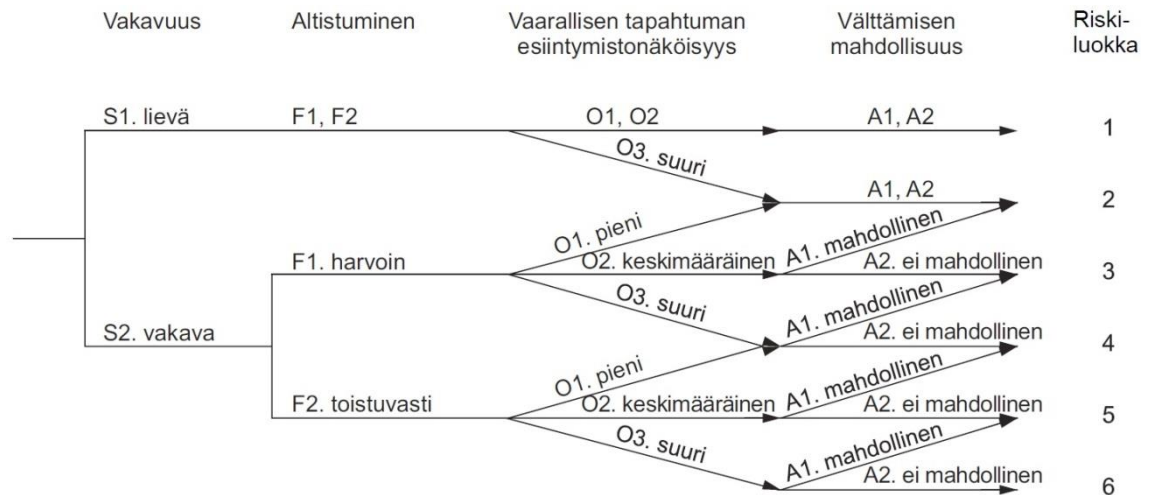
Vaarojen tunnistamisessa voidaan käyttää vahingosta vaaraan ja vaarasta vahinkoon menetelmiä (**Kuva 6.5**). Tässä työssä on käytetty pääsääntöisesti vaarasta vahinkoon menetelmää.



Kuva 6.5. Lähestymistapa riskin arviointiin (SFS-ISO/TR 14121-2:2013, s. 14)

Vaarasta vahinkoon lähestymistavassa pyritään löytämään mahdollisia vaaratilanteita kuten esimerkiksi putoaminen tai puristuminen. Seuraavaksi pyritään löytämään koneen vyöhykkeet, joilla vaaratilanne voi syntyä, ja tutkimaan henkilön läsnäolon mahdollisuutta vaaravyöhykkeellä. Mikäli henkilö voi olla vaaravyöhykkeellä, voi syntyä vaaratilanne. Tämän jälkeen tutkitaan, mitä eri vaarallisia tapahtumia liittyy kyseiseen vaaratilanteeseen, ja päädytään mahdollisiin vahinkoihin. Mahdollisia vahinkoja ovat esimerkiksi kuolema, raajan irtileikkautuminen, ruhjoutuminen tai muut terveysvaikutukset.

Riskin arvioinnissa valittiin käytettäväksi riskigraafimenetelmää (**Kuva 6.6**), koska se on käyttäjälle erittäin intuitiivinen ja soveltuu hyvin iteratiiviseen riskien pienentämiseen. Lisäksi riskin pienentämisen toimenpiteillä on riskigraafimenetelmässä lähes aina vaikutusta saavutettavaan riskiluokkaan.



Kuva 6.6. Riskigraafi (SFS-ISO/TR 14121-2:2013, s. 30)

Ensimmäisenä tutkitaan vahingon vakavuutta. Mikäli vahingon vakavuus on pieni, riskiluokaksi evaluoituu korkeintaan 2 ja riskiluokan pienentäminen on mahdollista ainoastaan pienentämällä vaarallisen tapahtuman todennäköisyyttä. Vakavissa vahingoissa riskiluokka on aina vähintään 2 ja maksimissaan 6. Riskin pienentämiseksi tehtyjen

toimenpiteiden jälkeen riskiluokkaa 3 suurempia riskejä ei tulisi enää esiintyä ollenkaan ja suurimmaksi osaksi arvioitujen riskien tulisi olla luokkaa 1 tai 2.

Pelkkää riskigraafia tutkimalla ei välttämättä ole käyttäjälle selvää mihin riskiluokkaan eri arviointikriteerien kautta tulisi päätyä. Standardissa on kuitenkin esitetty valintakriteerit oikean arvon valinnalle vahingon vakavuudelle, altistumistaajuudelle, vaarallisen tapahtuman esiintymistodennäköisyydelle ja välttämisen mahdollisuudelle.

Taulukko 6.5. Riskigraafin arviointikriteerien tulkinta

Arviointikriteeri	Asteikko	Valintakriteerit (ISO/TR 14121-2)
Vahinko	S1	Lievä vamma (tavallisesti palautuva: esimerkiksi naarmut, viillot, mustelmat tai ensiapua vaativat pienet haavat jne.) ja kyvyttömyys suorittaa samaa tehtävää ei kestä pitempään kuin kaksi päivää
	S2	Vakava vamma (tavallisesti palautumaton, mukaan luettuna kuolema: esimerkiksi murtuneet, irtirevenneet tai puristuneet raajat, luunmurtumat, tikkejä vaativat vakavat haavat, huomattavat tuki- ja liikuntaelimistön ongelmat jne.) Kyvyttömyys suorittaa samaa tehtävää kestää pitempään kuin kaksi päivää
Altistuminen	F1	Harvoin tapahtuvasta usein tapahtuvaan ja/tai lyhyt altistumisaika Altistuminen vaaralle enintään kahdesti työvuoron aikana tai alle 15 minuutin kerääntyvä altistuminen työvuoron aikana
	F2	Toistuvasta jatkuvaan altistumiseen ja/tai pitkä altistumisaika Altistuminen vaaralle useammin kuin kahdesti työvuoron aikana tai yli 15 minuutin kerääntyvä altistuminen työvuoron aikana
Vaarallisen tapahtuman esiintymistodennäköisyys	O1	Pieni (niin epätodennäköinen, että tapahtuma ei ehkä toteudu) Kehittynyt teknologia, koeteltu ja arvostettu turvallisuussovelluksissa, jämäkkyys
	O2	Keskimääräinen (todennäköisesti tapahtuu joskus) Tekninen vikaantuminen havaittu viimeksi kuluneen kahden vuoden aikana. Hyvin koulutetun riskeistä tietoisien ja enemmän kuin kuusi kuukautta työpisteessä työskennelleen henkilön virheellinen toiminta

	O3	Suuri (tapahtuu todennäköisesti usein) Toistuvasti havaittu tekninen vikaantuminen (joka kuudes kuukausi tai useammin). Kouluttamattoman alle kuusi kuukautta työpisteessä työskennelleen henkilön virheellinen toiminta
Välttämisen mahdollisuus	A1	Mahdollista joissain tilanteissa Jos osat liikkuvat alle 0,25 m/s nopeudella ja vaaralle altistuva henkilö tuntee hyvin riskin sekä vaaratilanteen tai tulossa olevan vaarallisen tapahtuman ennusmerkit; työntekijän on myös pystyttävä havaitsemaan vaaratilanne ja kyettävä reagoimaan siihen. Riippuen kyseisen tilanteen olosuhteista (lämpötila, melu, ergonomia jne.)
	A2	Ei mahdollista

Esitettyjen valintakriteerien pohjalta menetelmän käyttäjän on helppo päätyä oikean suuntaiseen arvioon eritapahtumien riskiluokista.

Käyttäen esitettyä riskigraafimenetelmää suoritettiin koneelle alustava vaara-analyysi, joka sisältää vaarojen tunnistamisen ja riskien arvioinnin. Alustavassa vaara-analyysissä vaarojen tunnistamiseen käytettiin standardin EN 280:2008 sisältämää vaaraluetteloa. Luettelossa kuvatut vaarat viittaavat erityisiin standardin kohtiin, joita käyttäen pyrittiin tunnistamaan vaaralliset tapahtumat ja löytämään sopivat toimenpiteet riskien pienentämiseksi. Taulukkopohjana käytettiin teknisen raportin ISO/TR 14121-2 taulukko A.4 mukaista pohjaa riskin suuruuden arviointiin. **Liitteessä 3** on esitetty ote vaara-analyysissä toteutetusta riskin arvioinnista henkilönostimelle.

Alustavan vaara-analyysin jälkeen ei ollut löydettävissä merkittäviä jäännösriskejä ja kaikki riskit saatiin suunnitelluilla toimenpiteillä siedettävälle tasolle. Seuraavina riskianalyysin toimenpiteinä voitaisiin toteuttaa esimerkiksi vikavaikutusanalyysi, jolla pyritään sulkemaan koneen tai sen osan vikaantumisen aiheuttamat vaaratilanteet. Tätä varten tulisi olla tiedossa koneen mekaaninen rakenne ja kaikki järjestelmäkaaviot.

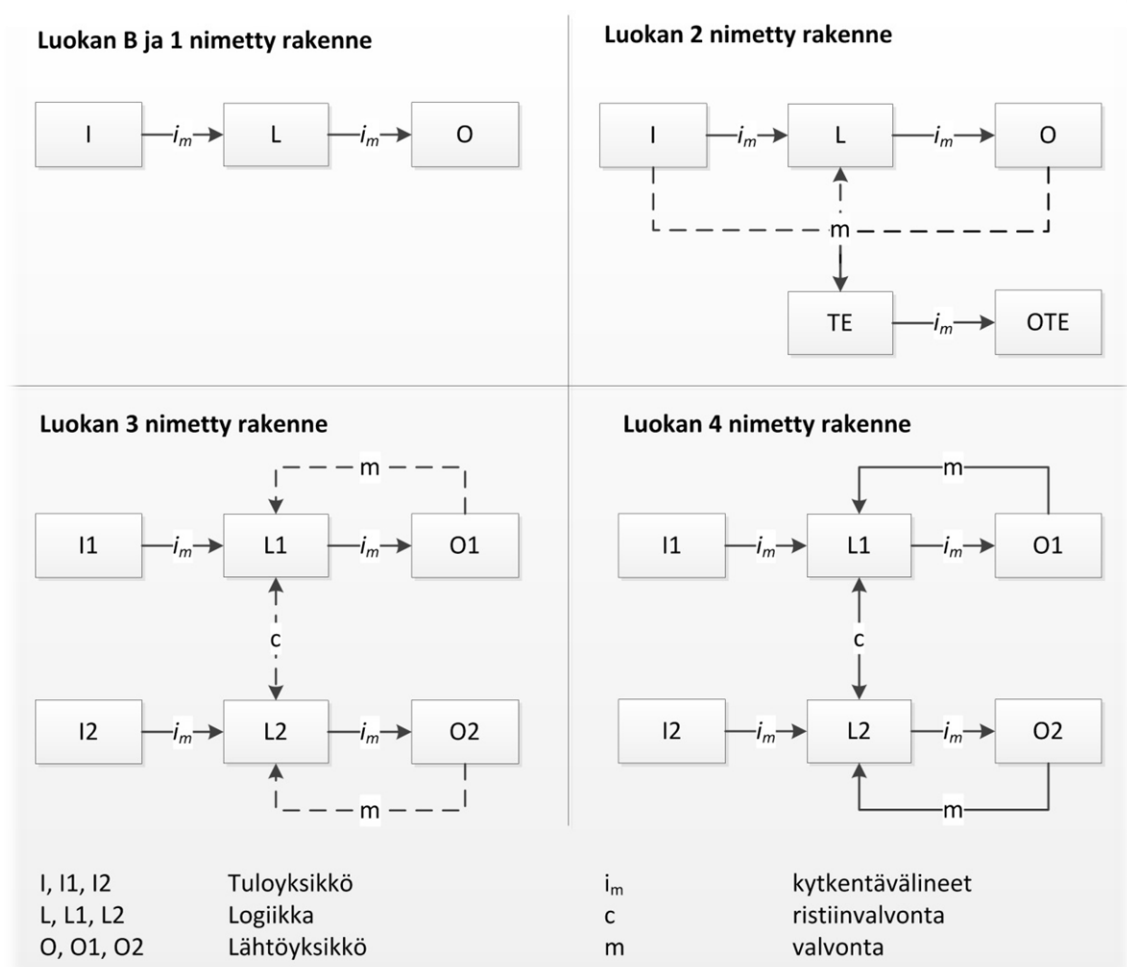
6.3 Ohjelmoitavat logiikat turvakriittisessä ohjausjärjestelmässä

Työkoneiden turvakriittisten ohjausjärjestelmien toteuttaminen käyttäen ohjelmoitavia logiikoita on verrattain uutta tekniikkaa henkilönostimissa ja aiemmin turvasovelluksiin sertifioituja kaupallisia tuotteita on ollut melko vähän. Usein käytetty ratkaisu on ollut rakentaa koneen perusohjaus toimimaan normaalilla ohjelmoitavalla logiikalla ja käyttää turvatoimintojen toteuttamiseen perinteistä relelogiikka, jonka turvallisuus on helpompi todentaa, koska turvapiiri ei sisällä ohjelmistoa. Normaaleja ohjelmoitavia logiikoita voidaan myös käyttää turvakriittisissä sovelluksissa, mutta näissä tapauksissa järjestelmän turvallisuuden arvioiminen on huomattavasti vaikeampaa kuin käytettäessä

varsinaista turvalogiikkaa. Turvalogiikalla tarkoitetaan ohjelmoitavaa logiikkaohjainta, joka rakenteeltaan soveltuu turvakriittisten toimintojen toteuttamiseen.

Turvalogiikka on sisäiseltä rakenteeltaan redundanttinen ja sisältää kattavat diagnostiikkatoiminnot. Laite sisältää yleensä vähintään kaksi prosessoria, jotka käsittelevät samat tiedot ja vertaavat tuloksia keskenään. Mikäli eri kanavien signaalit eroavat toisistaan, siirtyy laite turvatilaan. Ideaalitilanteessa eri kanavien rakenteet eroavat hieman toisistaan, jolloin todennäköisyys yhtäaikaiselle vikaantumiselle on yleensä pienempi kuin kanavien ollessa identtiset. Turvalogiikka sisältää sekä sisään- että ulostulojen diagnostiikkaa ja siirtyy turvatilaan, mikäli se havaitsee virheen lähdössä tai tulossa. Havaittavia virheitä ovat muun muassa oikosulut, ylikuormat ja johtorikot.

Toiminnallisen turvallisuuden taso määritellään standardin ISO 13849-1 mukaisesti viidellä suoritustasolla a, b, c, d ja e, joista a on matalin ja e korkein. Tällä hetkellä tarjolla olevat liikkuvien työkoneneiden käyttöön suunnitellut turvalogiikat kykenevät yleensä toteuttamaan turvatoimintoja toiseksi korkeimmalle suoritustasolle (PL) d asti. Rakenteellisesti turvalogiikat mahdollistavat ISO 13849-1 luokan 3 ja sitä alempien luokien (**Kuva 6.7**) mukaiset nimetyt rakenteet. Jotkin turvalogiikat mahdollistavat myös luokan 4 nimetyn rakenteen ja korkeimman toiminnallisen turvallisuuden tason PL e. Tällaiset logiikat on kuitenkin pääosin suunniteltu teollisuussovelluksiin.



Kuva 6.7. ISO 13849-1 mukaiset nimetyt rakenteet

Luokan B ja luokan 1 nimetyt rakenteet vastaavat kytkennällisesti toisiaan, mutta luokan 1 toteutuksessa vaaditaan, että käytetyt komponentit ovat hyvin koeteltuja tai niiden keskimääräiset ajat vaaralliseen vikaantumiseen ($MTTF_d$ -arvot) ovat riittävän korkeat. Luokan B rakenteella saavutetaan ainoastaan matalimmat toiminnallisen turvallisuuden tasot a ja b, ja luokan 1 rakenteella korkeintaan taso c. Luokan 2 nimetyssä rakenteessa järjestelmän komponenttien toimintaa valvotaan ja havaittaessa vikatilanne kone siirretään turvalliseen tilaan ohjaustoiminnolla tai varoitetaan käyttäjää. Luokan 2 rakenteella on mahdollista saavuttaa toiminnallisen turvallisuuden taso d. Luokkien B, 1 ja 2 nimetyt rakenteet on mahdollista toteuttaa normaalilla ohjelmoitavalla logiikalla. Luokan 3 nimetty rakenne, johon turvalogiikat pääosin kykenevät, perustuu signaalin kahdennukseen. Logiikan kahden sisääntulosignaalin arvoja verrataan toisiinsa ja logiikka sisältää kaksi itsenäistä prosessointiyksikköä, jotka valvovat toistensa toimintaa. Tämän lisäksi valvotaan lähtöyksikön toimintaa ja lähettämää signaalia. Luokan 3 nimetty rakenne mahdollistaa turvatoimintojen toteuttamisen PL d tasolle asti. Korkein suoritustaso PL e on mahdollista saavuttaa ainoastaan luokan 4 rakenteella. Luokan 4 rakenne vastaa periaatteessa luokan 3 rakennetta, mutta vaatimukset valvontatoiminnoille ovat korkeammat ja ainoastaan korkean $MTTF_d$ -arvon omaavat komponentit ovat sallittuja. Periaatteessa luokkien 3 ja 4 järjestelmät ovat toteutettavissa käyttämällä kahden erillistä ohjauslogiikkaa, mutta tällöin turvalogiikoihin sisäänrakennetut valvontatoiminnot on toteutettava sovellusohjelmiston ja logiikkayksiköiden kytkentöjen avulla, minkä lisäksi turvallisuuden taso on todennettava tapauskohtaisesti ottaen huomioon kaikki piirissä olevat komponentit. Huomattavasti helpompaa on käyttää turvalogiikkaa, jossa laitteiston komponenttien turvallisuuden taso on valmiiksi todennettu ja ainoastaan kokonaisjärjestelmän turvallisuuden taso on todennettava. Lisäksi turvalogiikoiden mukana tulee useimmiten myös valmiita sertifioituja ohjelmistokomponentteja ja kehitystyökaluja, joilla turvakriittisten sovellusten toteuttaminen on helppoa ja joiden turvallisuus on etukäteen todennettu.

Ohjausjärjestelmäsuunnittelun alkuvaiheessa selvitettiin markkinoilla olevia turvalogiikoita. Tällä hetkellä turvalogiikat yleistyvät liikkuvissa työkoneissa ja useat eri valmistajat tarjoavat vähintään yhtä mallia. Lisäksi useilla valmistajilla on käynnissä tuotekehitysprojekteja turvalogiikan toteuttamiseksi. Markkinoilla olevat turvalogiikat ovat pääosin ensimmäistä sukupolvea, mutta jotkut valmistajat ovat tuoneet markkinoille jo myös toisen sukupolven laitteita.

Markkinoilla olevista turvalogiikoista pyrittiin löytämään suunniteltavaan henkilönostimeen parhaiten sopiva turvalogiikkaratkaisu. Tämän vuoksi etsittiin kattaus hie-
man eri tavoin toteutettuja turvalogiikoita eri valmistajilta (**Taulukko 6.6**) ja niitä pyrittiin vertailemaan saavutettavan turvallisuuden tason, ohjelmointitapojen, hinnan ja laitteelle tehtyjen hyväksyntöjen perusteella.

Taulukko 6.6. Tarkasteltavat turvalogiikat

Valmistaja	Tuotteet	Yleiskuvaus
Parker	IQAN-MC3	<p>PL_{max}: PL d</p> <p>Ohjelmointi: IQANdesign platform</p> <p>Hinta: Korkea</p> <p>Sertifioitu: Kyllä</p> <p>Parkerin IQAN tuoteperhe sisältää yhden sertifioitun turvalogiikkayksikön, joka on tarkoitettu käytettäväksi osana hajautettua ohjausjärjestelmää. Käytettävissä olevan turvakriittisen I/O:n määrä on suhteessa komponentin hintaa korkea. Ohjelmointi toteutetaan Parkerin omilla ohjelmointityökaluilla.</p>
Danfoss	SC024-010/012 SC024-020/022 SC050-020/022	<p>PL_{max}: PL d</p> <p>Ohjelmointi: PLUS+ GUIDE</p> <p>Hinta: Korkea</p> <p>Sertifioitu: Kyllä</p> <p>Danfossin turvalogiikat ohjelmoidaan käyttäen Danfossin PLUS+ GUIDE ohjelmointiympäristöä, jolla myös Danfossin muut logiikat ohjelmoidaan. Vähäisen I/O määrän vuoksi Logiikat soveltuvat parhaiten hajautettuun ohjausjärjestelmään.</p>
IFM	CR7132 CR7032 CR7201 CR7506 CR7021	<p>PL_{max}: PL d</p> <p>Ohjelmointi: CoDeSys 2.3</p> <p>Hinta: Edullinen</p> <p>Sertifioitu: Kyllä</p> <p>IFM tarjoaa turvalogiikoita sekä 32- että 16-bittisinä versioina. 16-bittiset ohjaimet ovat ensimmäisen sukupolven turvalogiikoita ja 32-bittiset toisen sukupolven. Riippuen ohjaimesta on kaikkea tai vain osaa I/O:sta mahdollista käyttää turvakriittisissä sovelluksissa. Turvalogiikoita on mahdollista ohjelmoida käyttäen valmiita sertifioituja ohjelmistokomponentteja.</p>
Bosch-Rexroth	RC/20 RC2-2/21 RC/22 RC4-5/30 RC12-10/30 RC20-10/30 RC28-14/30 RC36-20/30	<p>PL_{max}: PL d</p> <p>Ohjelmointi: CoDeSys 2.3/ C (BODAS design)</p> <p>Hinta: Edullinen</p> <p>Sertifioitu: Ei</p> <p>Bosch-Rexrothin BODAS-tuoteperheeseen kuuluvat RC-ohjaimet soveltuvat turvakriittisten toimintojen toteuttamiseen, mutta ohjaimille ei ole suoritettu minkään tarkastuslaitoksen sertifiointia. Lo-</p>

		giikka yksiköitä on tarjolla tuloilla ja lähdöillä mitattuna pieniä ja suuria ohjaimia, joilla on mahdollista toteuttaa helposti sekä keskitettyjä että hajautettuja järjestelmiä.
Inter Control	Fusion S	PL _{max} : PL d Ohjelmointi: CoDeSys 3.5 Hinta: Kohtalainen Sertifioitu: Kyllä Inter Controllin Fusion S on ensimmäinen CoDeSys 3 -ohjelmoitava turvalogiikka. Fusion S:n kaikki I/O on turvakriittistä ja skaalautuvaa (48–240) riippuen valitusta I/O-korttien määrästä
TTControl (Hydac)	HY-TTC 580 HY-TTC 540 HY-TTC 200 HY-TTC 100 HY-TTC 90	PL _{max} : PL d Ohjelmointi: CoDeSys 3 / CoDeSys 2.3 / C / C++ Hinta: Kohtalainen Sertifioitu: Kyllä TTControl tarjoaa viittä eri turvalogiikkaa kohtalaisen laajalla I/O rajapinnalla. Logiikat soveltuvat yksinään pieniin keskitettyihin järjestelmiin tai hajautettuun järjestelmään, joka voi sisältää myös normaaleja ohjauslogiikoita.

Kaikki tutkitut turvalogiikat mahdollistavat turvatoimintojen toteutuksen aina PL d tasolle asti, mikä on minimivaatimus, jotta laitetta voidaan käyttää henkilönostimissa. Ohjelmointitavat vaihtelevat riippuen ohjaimista. Nykyään CoDeSys-ohjelmoitavia logiikoita on kaikkein eniten, mikä johtune ohjelmointiympäristön soveltumisesta hyvin turvatoimintoihin, sillä sen sisältämät ohjelmointikielet sisältävät rajoitetun käskykannan. CoDeSys-ohjelmoitavia logiikoita on saatavilla IFM:ltä, Bosch-Rexrothilta, Inter Controllilta ja TTControllilta. Bosch-Rexrothin ja TTControllin ohjaimet mahdollistavat myös C-koodin käytön ohjelmoinnissa. Parkerin ja Danfossin logiikoiden ohjelmointi on mahdollista ainoastaan käyttäen valmistajien omia ohjelmointiympäristöjä, joissa ohjelmointi on pyritty tekemään mahdollisimman helpoksi. Ohjelmoinnin helpous toteutuu parhaiten, mikäli ohjausjärjestelmässä käytetään myös ohjaimen valmistajan muita komponentteja. Ohjelman siirtäminen näistä ohjaimista muihin ohjaimiin on myös melko työlästä, koska ohjelmointitapa ei noudata mitään yleistä standardia. Hinnallisesti Parker ja Danfoss sijoittuvat kalliimpaan päähän ja IFM ja Bosch-Rexroth ovat selvästi edullisimmat. Inter Control ja TTControl sijoittuvat hinnallisesti keskitasolle. Kautta linjan valmistajat ovat pyrkineet sertifioimaan turvalogiikoiksi tarkoitetut tuotteensa ja tästä linjasta poikkeaa ainoastaan Bosch-Rexroth, joka ei ole hakenut ohjaimilleen ulkopuolisen laitoksen hyväksyntää.

7 SUORITETTUJEN SUUNNITTELUTOIMENPITEIDEN ARVIOINTI

Työssä toteutettuja suunnittelutoimenpiteitä olivat siirrettävän henkilönostimen hydraulijärjestelmälle tehtävät vaatimusmäärittelyt, hydraulijärjestelmän komponenttien valinta ja toimilaitteiden mitoitus sekä järjestelmän riskianalyysi. Näiden lisäksi pohjustettiin ohjausjärjestelmän komponenttivalintaa tutkimalla markkinoilla olevia turvalogiikoita.

Käyttäen henkilönostimiin liittyviä suunnittelustandardeja yhdessä käyttäjävaatimusten kanssa onnistuttiin johtamaan henkilönostimen hydraulijärjestelmälle tarvittavat vaatimukset yleisellä tasolla. Standardien asettamia erityisvaatimuksia ei käyty yksityiskohtaisesti lävitse vaan keskityttiin suunnitteluprojektin kannalta oleellisiin kohtiin, jotka liittyvät pääosin toimilaitteiden, kuten ajomoottoreiden ja nostosylinterien mitoitukseen. Toisena tärkeänä vaatimusalueena nousi esiin sopivien ohjausventtiilien valinta. Venttiilien tuli mahdollistaa muun muassa yhtäaikaisten puominohjausliikkeiden tekeminen ja koneen automaattitasaus.

Valittaessa komponentteja järjestelmään tutkittiin erilaisten proportionaalisten venttiiliohjausten mahdollisuuksia ja kustannuksia. Tärkeimpänä valintakriteerinä oli vähintään nykyisten ominaisuuksien tason pitäminen ja parantaminen mahdollisimman monella alueella. Siirryttäessä uuteen ohjaustekniikkaan pieni kustannustason nousu hyväksyttiin, mikäli se toisi mukanaan myös ominaisuuksien parantumista. Lähtökohtaisesti sähköohjattuihin ohjausventtiileihin siirtyminen mahdollisti koneen ulottumien kasvattamisen suhteessa kokonaismassaan työtason painon laskiessa ja ohjaustarkkuuden paranemisen venttiilien ohjauksen skaalaamisen mahdollistuessa. Verrattuna moniin muissa nostimissa tehtyihin ratkaisuihin hydrauliventtiileiden valinnassa tehtiin selkeä panostus puomin ohjausliikkeiden yhtäaikaiseen käyttöön, joka ei yleensä toteudu sähköisesti ohjatuissa henkilönostinten hydraulijärjestelmissä. Koneen vetomoottoreita valittaessa pyrittiin keskittymään konsernin sisältä löytyviin jo käytössä oleviin hydraulimoottorimalleihin. Vanhoista malleista peräisin olevien kokemusten kautta päädyttiin valitsemaan muutama moottorimalli testattavaksi. Testien ja ominaisuuksien vertailun perusteella päädyttiin käyttämään koneen pyöräversiossa Poclain MSE-02 -moottoreita ja telaversiossa Brevinin CTM 1016 -vaihdemoottoreita. Valituilla moottoreilla saavutettiin aiempaa vastaavalla hintatasolla koneen vetovoiman kasvattaminen komponenttien soveltuessa mekaanisesti paremmin niille suunniteltuun käyttöön.

Hydraulijärjestelmään toteutettiin useita eri turvallisuuteen liittyviä ominaisuuksia. Tärkeänä lähtökohtana oli kuitenkin pitää hydraulijärjestelmän turvakriittisten osien määrä mahdollisimman pienenä. Tämän vuoksi järjestelmän turvallisuudesta ei huoleh-

dittu toimilaitteiden ohjausventtiileillä vaan tähän käytettiin hydraulipiirin alkupäähän asennettua valintaventtiiliä ja vapaakiertoventtiiliä, joita ohjattiin turvajärjestelmän kautta. Pidettäessä järjestelmän turvallisuuteen liittyvien komponenttien määrä mahdollisimman pienenä jätettiin mahdollisuus muuttaa järjestelmän muita osia huomattavasti vapaammin. Koneen eri vikatilanteita varten henkilönostimen tulee sisältää jonkinlainen varalaskujärjestelmä. Tässä työssä suunniteltiin työtason varalaskun toteutukseen kaksi hydraulista järjestelmää, joilla pystytään kattamaan standardin vaatimukset. Käsipumpun avulla toteutetulla järjestelmällä pystytään ohjaamaan kaikkia koneen liikkeitä kaikkiin suuntiin, jos muuta tehonlähdettä ei ole käytettävissä, ohjausjärjestelmä on vikatilassa tai koneen turvajärjestelmät ovat laenneet. Käsipumpun käyttö on kuitenkin mahdollista vain maatasosta, jonka vuoksi työtasolle asennetaan muusta ohjausjärjestelmästä riippumattomat varalaskupainikkeet, joilla voidaan suorittaa työtason painovoimainen lasku ohjaten sylintereihin asennettuja sähköohjattuja varalaskuventtiileitä. Painikkeiden ansiosta työtasolla olevalla henkilöllä on vikatilanteissa mahdollisuus päästä alas työtasolta myös ilman ulkopuolista apua. Molemmat edellä mainituista varalaskujärjestelmistä täyttävät myös yksinään suunnittelustandardien vaatimukset.

Ajovoimansiirron mitoitus suoritettiin siitä huolimatta, että ajomoottorit valittiin jo vanhalla nostinmallilla tehtyjen testien perusteella. Mitoituslaskelmilla haluttiin kuitenkin hakea varmistusta tehtyjen valintojen tueksi. Mitoituslaskelmien perusteella pyöräalustaan valitun vetomoottorin koko (364 cm^3) on pienempi kuin laskettu arvo (424 cm^3). Testeissä tällä moottorilla saavutettiin kuitenkin vastaavat vetovoimat kuin vanhoissa malleissa käytetyllä moottorilla, jonka koko vastaa mitoitettua arvoa. Näin ollen ei nähty syytä muuttaa tehtyä valintaa pyöräalustan vetomoottoriksi. Tela-alustan vetomoottoriksi esivalittu moottori (130 cm^3) oli päinvastoin mitoitusarvoa (100 cm^3) suurempi ja näin ollen jätti mahdollisuuden käyttää samasta moottorista myös pienempitilavuuksista versiota. Pienempien moottorimallien testaus jätettiin kuitenkin tämän työn ulkopuolelle.

Sylinterien mitoitusta varten luotiin laskentamalli, jota käyttämällä saadaan helposti selville nostosylinterien kuormitustilanteet koko sylinterin liikematkalla ja sylinterin minimikoot perustuen laskettuun maksimikuormitukseen. Laskentamalli on käyttökelpoinen minkä tahansa nivelrakenteisen nostomekanismin laskentaan, joten sen käyttö on mahdollista myös muiden laitteiden suunnittelussa. Nurjahdusmitoituksessa päästiin nostosylinterien osalta suhteellisen hyviin lopputuloksiin, sillä männän ja männänvarren pinta-alojen suhteet pysyivät käytön kannalta järkevinä eikä mäntää tarvinnut kasvattaa merkittävästi mitoitusarvoista paluuliikkeen hidastamiseksi. Haastavin nurjahdustilanne on teleskooppisylinterillä, jolla on erittäin pitkä isku, jolloin huolimatta pienestä kuormituksesta männänvarren halkaisija on mitoituksellisesti täysin määräävä. Näin ollen pyrittiin lähtökohtaisesti toteuttamaan teleskooppisylinterin käyttö differentiaalikytkennällä, jolla saavutettiin yhtä nopeat ojennus ja paluuliike. Tukijalkasylinterien mitoituksessa laskenta toteutettiin ainoastaan oletetussa maksimikuormitustilanteessa, jossa tukijalka ja sylinteri ovat ääriasennoissaan. Tukijalkasylinterin mitoitus olisi ollut myös mahdollista tehdä käyttäen nostosylinterien mitoituksen laskentamallia asettamalla sen

parametrit kuormitustilanteen mukaan. Myös tukijalkasyntereille löydettiin sopivat standardimitat, eikä nurjahdustarkastelu aiheuttanut tarvetta männän ylimitoitukselle, johtuen männän ja männänvarren halkaisijoiden sopivasta suhteesta.

Ohjausjärjestelmän suunnittelussa sovellettiin konekohtaisia C-tyyppin standardeja konedirektiiviä sekä muita turvakriittisten ohjausjärjestelmien suunnitteluohjeita. Standardien avulla määritettiin suunniteltavalle siirrettävälle henkilönostimelle vaaditut turvatoiminnot ja peruseriaatteet turvatoimintojen toteutukselle. Turvatoiminnot rajattiin koskemaan sopivan pientä aluetta koneen ohjausjärjestelmästä ja järjestelmä onnistuttiin kokonaisuudessaan pitämään toiminnallisesti yksinkertaisena. Järjestelmän toiminnan ollessa suoraviivaista ja toimintojen ristiinvaikutusten ollessa vähäisiä saavutettiin hyvät lähtökohdat jatkosuunnittelulle ja järjestelmän hyväksyttämiseksi. Käyttäen eri sidosryhmiltä saatua ja markkinoilla olevista konemalleista kerättyä tietoa, koneelle asetettiin nykyaikaiset vaatimukset ominaisuuksille ja toiminnalle. Määriteltyjen vaatimusten avulla on mahdollista suunnitella kone, joka tekniikaltaan ja ominaisuuksiltaan on markkinoiden kärkipäätä ja voidaan olettaa säilyvän nykyaikaisena ja haluttuna konemallina seuraavalle vuosikymmenelle asti.

Turvalogiikoiden käytöstä ja turvakriittisten ohjausjärjestelmien toteuttamisesta ei ollut aiempia kokemuksia Leguan-henkilönostimissa, joten selvittäessä markkinoilla olevia turvalogiikoita kerättiin arvokasta tietoa mahdollisuuksista, joita turvalogiikoiden käyttö tuo mukanaan. Turvalogiikoiden voitiin todeta yksinkertaistavan sähköjärjestelmän fyysistä rakennetta merkittävästi, koska aiemmin relelogiikoilla toteutetut kytkennät voidaan toteuttaa ohjelmallisesti. Toisaalta ohjelmoitavan logiikan käyttö tuo myös mahdollisuuksia toteuttaa uusia toimintoja ja lisätä koneen automatiikkaa. Varjopuolena turvalogiikoiden käytössä on niiden vaatima ohjelmisto-osaaminen ja toisaalta myös hyväksyntäprosessin haasteet. Erityisesti ongelmallista on todentaa ohjelmiston turvallisuus, koska ohjelmistovikoja ei vielä ymmärretä yleisesti yhtä hyvin kuin perinteisiä sähköjärjestelmän vikoja. Ohjelmiston hyväksyttäminen on sertifioitujen turvalogiikoiden ja niiden mukana tulevien valmiiden ohjelmistokomponenttien avulla huomattavasti helpompaa kuin perinteisillä logiikoilla toteutetun ohjelmiston hyväksyttäminen. Tämän vuoksi sertifioitujen turvalogiikoiden käyttö on erittäin suotavaa turvakriittisissä soveluksissa.

Riskianalyysin suorittamista varten perehdyttiin standardisoituihin toimintatapoihin riskianalyysin toteutuksessa. Suunniteltavalle henkilönostimelle saatiin standardien ja ohjeiden avulla kerättyä tarvittavat esitiedot ja menetelmät riskianalyysille. Toteutetut riskianalyysin toimenpiteet liittyivät koneen suunnittelun alkuvaiheeseen, jossa määriteltiin muun muassa koneen raja-arvot ja toteutettiin alustava vaara-analyysi. Alustavan vaara-analyysin kautta todennettiin koneen täyttävän lähtökohtaisesti konedirektiivin vaatimukset, kun ajatellut suunnittelutoimenpiteet toteutetaan analyysissä kuvatulla tavalla.

8 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli suunnitella uuteen siirrettävään henkilönostimeen hydraulijärjestelmä ja ohjausjärjestelmä. Suunnittelun pohjaksi tutkittiin henkilönostinmarkkinoita, tyypillisiä siirrettäviä henkilönostimia ja nostinten käyttöä. Näin muodostettiin kokonaiskuva henkilönostinmarkkinoista, jonka jälkeen tutustuttiin tarkemmin Leguan Liftsin valmistamiin henkilönostinmalleihin. Tutkittuja henkilönostinmalleja vertaamalla haettiin mahdollisia toteutettavia toimintoja, joita uuden ohjausjärjestelmän suunnittelussa pyritäisiin viemään eteenpäin.

Suunnittelutyötä varten perehdyttiin konedirektiivin ja C-tyypin suunnittelustandardien asettamiin vaatimuksiin henkilönostinsuunnittelussa. Tärkeimmät seurattavat standardit olivat EN 280 ja ISO 13849, joista EN 280 on siirrettävien henkilönostinten suunnittelustandardi ja ISO 13849 koneiden ohjausjärjestelmien toiminnalliseen turvallisuuteen liittyvä standardi. Suunnittelutyössä käytettiin apuna myös koneturvallisuusstandardeja ISO 12100 ja ISO 14121-2 sekä muita suunnitteluohjeita.

Suunnittelutoimenpiteet rajattiin koskemaan hydraulisten toimilaitteiden mitoitus- ja valintaa, toteutusperiaatteiden valintaa, hydraulipiirin suunnittelua sekä ohjausjärjestelmän vaatimusmäärittelyä ja riskianalyysiä. Järjestelmäsuunnittelun alkuvaiheessa valittiin toteutettavaan järjestelmään soveltuvia komponenttityyppejä ja piirrettiin hydraulijärjestelmäkaavio. Kuormaa kantaville sylintereille ja ajovoimansiirrolle suoritettiin mitoituslaskelmat. Ohjausjärjestelmäsuunnittelu tuotti vaatimusmäärittelyn, joka liitettiin koneen toiminnalliseen kuvaukseen. Koneensuunnitteluun liittyvistä riskianalyysin osista toteutettiin raja-arvojen määrittely ja alustava riskien kartoitus vaara-analyysin muodossa. Vaara-analyysi liitettiin osaksi koneen riskianalyysin dokumentaatiota.

Tuloksena saatiin siirrettävälle henkilönostimelle valmis hydraulijärjestelmän konsepti sekä lähtökohdat ohjausjärjestelmän jatkosuunnittelulle ja toteutukselle. Jatkotoimenpiteinä työlle on koneen sähköjärjestelmän suunnittelu ja ohjausjärjestelmän toteutus sekä suunnittelun loppuvaiheeseen liittyvät riskianalyysit. Suunnittelutoimenpiteiden jälkeen suunnitellulle järjestelmälle suoritetaan myös EY-tyyppihyväksyntä.

LÄHTEET

Dinolift_[1]. Tuotteet. Tuotetiedot: DINO 160XT. [WWW]. [Viitattu 22.1.2014]. Saatavissa: http://www.dinolift.com/products/fin/dino_160xt-p-8-0/

Dinolift_[2]. Tuotteet. [WWW]. [Viitattu 17.11.2013]. Saatavissa: <http://www.dinolift.com/products/fin>

JLG_[1]. Equipment. Towable Boom Lifts. Tow-Pro. [WWW]. [Viitattu 5.4.2014]. Saatavissa: <http://www.jlg.com/en/equipment/towable-boom-lifts/tow-pro>

Hinowa. Self-propelled tracked aerial platforms. [WWW]. [Viitattu 22.1.2014]. Saatavissa: <http://hinowa.com/scheda.asp?idprod=543&idpdrerif=18>

Genie_[1]. Products. ZTM-51/30J RT. [WWW]. [Viitattu 22.1.2014]. Saatavissa: <http://www.genielift.co.uk/en/products/new-equipment/articulating-booms-cherry-pickers/diesel-articulating-boom-lifts-cherry-pickers/z-5130jrt/index.htm>

Genie_[2]. Products. STM-60HC. [WWW]. [Viitattu 22.1.2014]. Saatavissa: <http://www.genielift.co.uk/en/products/new-equipment/telescopic-booms/telescopic-boom-lifts/s60hc/index.htm>

Dinolift_[3]. Tuotteet. Tuotetiedot: DINO 205RXT. [WWW]. [Viitattu 2.3.2014]. Saatavissa: http://www.dinolift.com/products/fin/dino_205rxt-p-21-0/

Genie_[3]. Products. GSTM-2669 RT & GSTM-3369 RT & GSTM-4069 RT. [WWW]. [Viitattu 22.1.2014]. Saatavissa: <http://www.genielift.co.uk/en/products/new-equipment/scissor-lifts/diesel-scissor-lifts/gs-3269rt/index.htm>

Nifty Lift. Products. Cherry Picker. Static Base. DR15 | 15.1m. [WWW]. [Viitattu 2.3.2014]. Saatavissa: <http://www.niftylift.com/uk/products/cherry-picker/static-base/dr15>

Bronto Skylift. Access applications. XR. [WWW]. [Viitattu 22.1.2014]. Saatavissa: <http://www.bronto.fi/sivu.aspx?taso=1&id=383#>

JLG_[2]. Equipment. Vertical Lifts & Stock Pickers. [WWW]. [Viitattu 2.3.2014]. Saatavissa: <http://www.jlg.com/en/equipment/vertical-lifts-stock-pickers>

IPAF. International Powered Access Federation. About IPAF. [WWW]. [Viitattu 21.8.2013]. Saatavissa: <http://www.ipaf.org/en/about-ipaf/overview/>

Leguan Lifts. Leguan 125. [WWW]. [Viitattu 22.2.2014]. Saatavissa: http://www.leguanlifts.com/index.php?page=leguan-125_fi

Leguan Lifts. Leguan 160. [WWW]. [Viitattu 22.2.2014]. Saatavissa: <http://www.leguanlifts.com/index.php?page=200-kg-korikuorma-koko-nostoalueella>

Leguan Lifts. Leguan 130. [WWW]. [Viitattu 22.2.2014]. Saatavissa: http://www.leguanlifts.com/index.php?page=leguan-130_fi

Leguan Lifts. Leguan 50. [WWW]. [Viitattu 22.2.2014]. Saatavissa: http://www.leguanlifts.com/index.php?page=leguan-500_fi

IPAF Powered Access Rental Report Europe – 2011. Final Report. May 2011. [WWW]. [Viitattu 21.8.2013]. Saatavissa: http://www.ipaf.org/fileadmin/user_upload/documents/en/IPAFEuropeanRentalMarketReport2011.pdf

VNa 12.6.2008/400. Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta. Koneasetus

Konedirektiivi. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/42/EY. Euroopan unionin virallinen lehti. 9.6.2006. s. 24–86.

SFS-EN ISO 12100. 2010. Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen. Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto. 172 s.

SFS-ISO/TR 14121-2. 2013. Koneturvallisuus. Riskin arviointi. Osa2: Käytännön opastusta ja esimerkkejä menetelmistä. Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto. 80 s.

SFS-EN 280. 2013. Mobile elevating work platforms. Design calculations. Stability criteria. Construction. Safety. Examinations and tests. Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto. 98 s.

ANSI/SIA 92.5. 2006. Boom-supported elevating work platforms. New York. American National Standards Institute. 30 s.

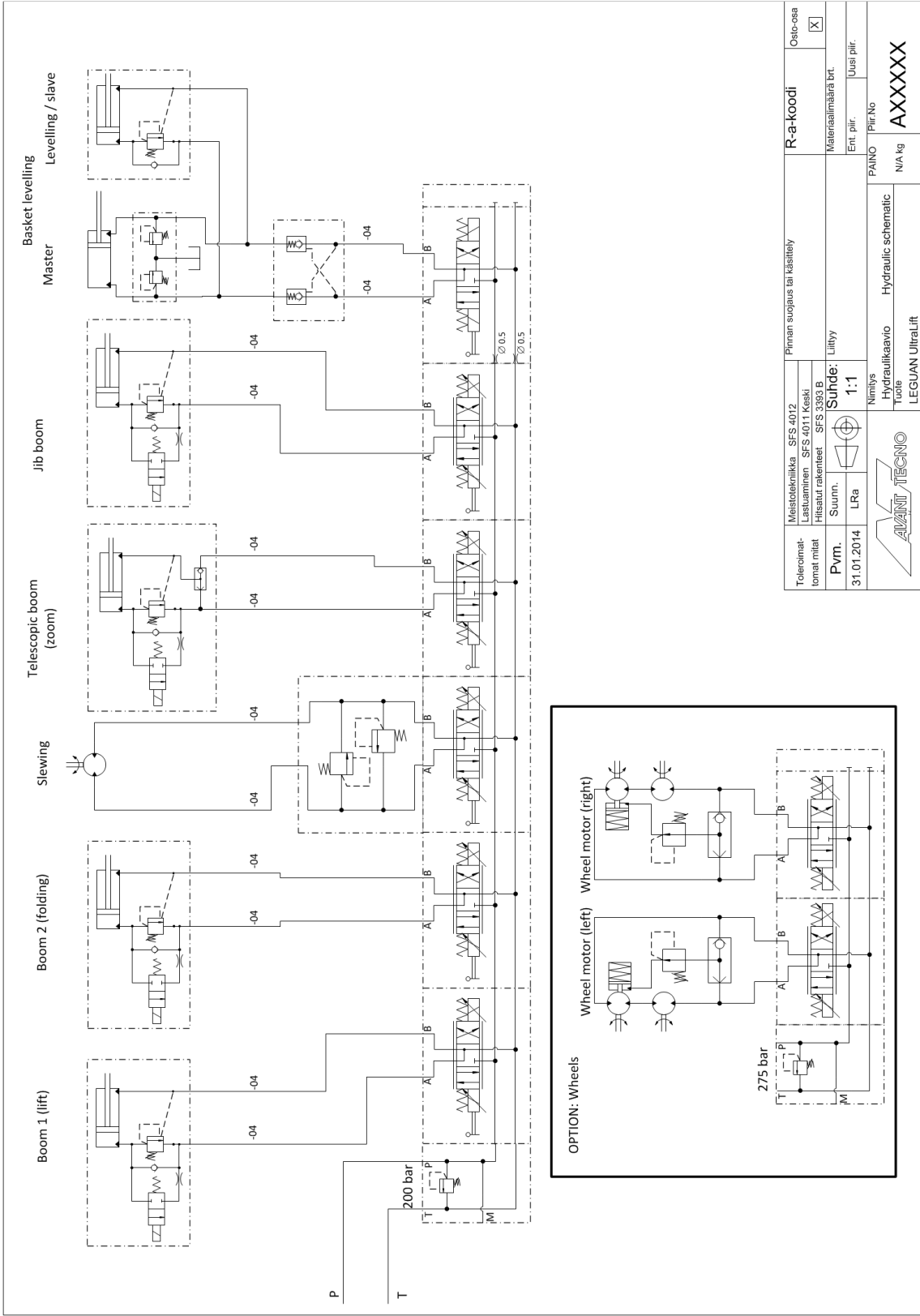
AS/NZS 1418.10. 2011. Cranes, hoists and winches. Part 10: Mobile elevating work platforms. Sydney. SAI Global. 172 s.

SFS-EN ISO 13849-1. 2006. Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmien osat. Osa 1: Yleiset suunnitteluperiaatteet. Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto. 178 s.

Hietikko, M. Malm, T. Alanen, J. KOTOTU. Koneiden ohjausjärjestelmien toiminnallinen turvallisuus. Ohjeita ja työkaluja standardien mukaisen turvallisuusprosessin luomiseen. VTT tiedotteita 2485. [WWW]. [Viitattu 15.8.2013]. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2009/T2485.pdf>

Kauranne H.,Kajaste J. & Vilenius M. 2008. Hydrauliteknikka. 1. painos. Helsinki. WSOY. 487 s.

Fonselius J, Rinkinen J & Vilenius M. 2006. Koneautomaatio: Hydrauliteknikka II. 3. painos. Tampere. Tampereen Yliopistopaino Oy – Juvenes Print. 223 s.



LIITE 2: NOSTOSYLINTERIEN LASKENTAMALLI

Lift cylinder calculator for articulating joint, Stress type Euler 2, safety factor 4

x_{cyl} Variable for cylinder length

INPUT VALUES

$p_{cyl} := 200\text{bar}$ Work pressure

Mechanism for load

$\alpha_{init} := -17\text{deg}$ Initial angle of lift boom (from horizontal axis)

$m_{boom} := 700\text{kg}$ Mass of lift boom (including load)

$s_G := 2.4\text{m}$ G point from articulating joint

Cylinder

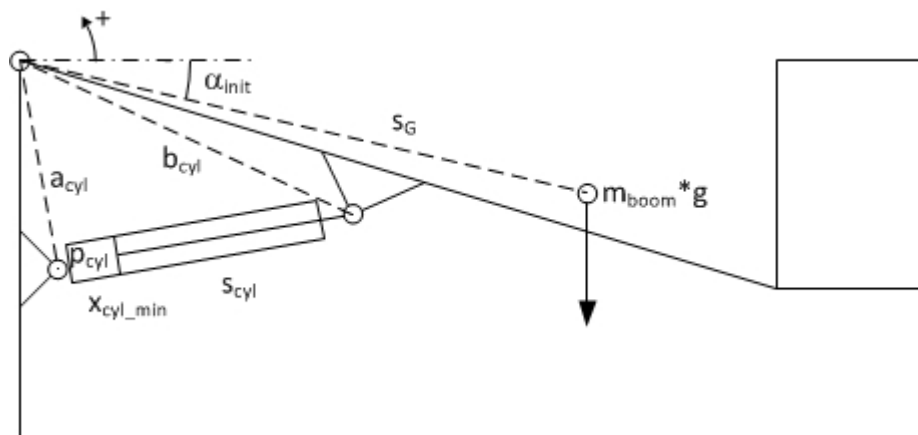
$x_{cyl_min} := 794\text{mm}$ Minimum length of cylinder

$s_{cyl} := 500\text{mm}$ Cylinder stroke

Mechanism measures for assembly (cylinder triangle)

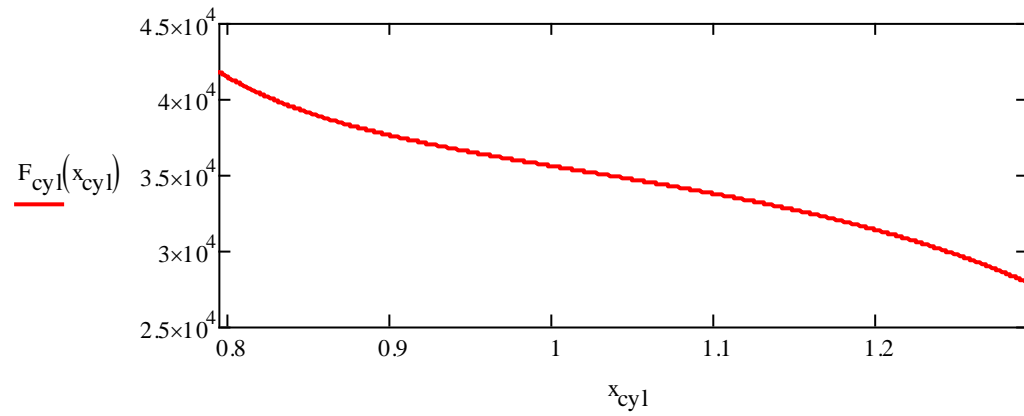
$a_{cyl} := 456\text{mm}$ From articulating joint to cylinder joint1

$b_{cyl} := 1116\text{mm}$ From articulating joint to cylinder joint2

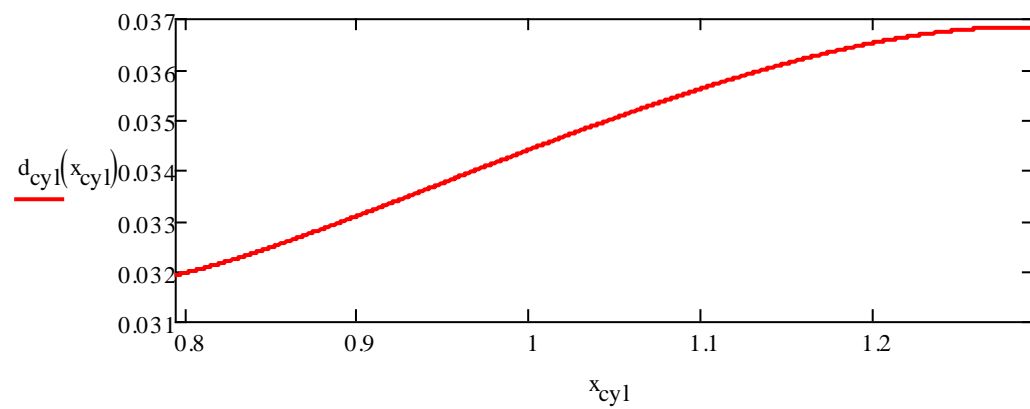


RESULTS

Cylinder force related to stroke length



Required piston rod diameter related to stroke length



$$F_{\max} = 41.778 \text{ kN}$$

Minimum cylinder force

$$D_{\min} = 51.572 \text{ mm}$$

Minimum bore diameter

$$d_{\min} = 36.813 \text{ mm}$$

Minimum rod diameter

$$\Delta\gamma = 66.5 \text{ deg}$$

Available boom angle

